مجلة
العلوم
الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 22 - العددان 4/3
مارس/ أبريل 2006

SCIENTIFIC
AMERICAN
March/ April 2006

العددان 215/216 - السعر: 1.500 دينار كويتي

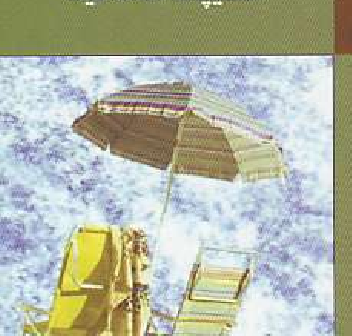
الطفرات الوراثية
والهجرة البشرية عبر آلاف السنين



حدود البحث عن سبب



العصر المنسي
للشيپات الدماغية









المقالات

ترجمة أو مراجعة

«مجلة العلوم» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «مؤسسة الكويت للتقدم العلمي»، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«ساينتفيك أمريكان» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «ساينتفيك أمريكان» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول.

حدود البحث عن سبب[*]

إن الجمع بين أفكار القرن السابع عشر المتعلقة بالتعقيد[1] والعشوائية[2] ونظرية المعلومات الحديثة يقتضي استحالة وجود «نظرية كل شيء»[3] للرياضيات.

<G. تشايتن>

في عام 1956، نشرت مجلة *ساينتفيك أمريكان* مقالة كتبها <E. ناگيل> و <R .J. نيومان> بعنوان «برهان گودل»[4]. وبعد ذلك بعامين، نشر هذان المؤلفان كتابا بالعنوان نفسه. لقد كان عملا رائعا حقا، ويشهد على ذلك أنه يُطبع حتى الآن. وحينذاك لم أكن قد بلغت بعد سن المراهقة، ومع ذلك استحوذ هذا الكتاب الصغير على جميع أفكاري. ومازلت أذكر الرعشة التي انتابتني عندما اكتشفته في مكتبة نيويورك العامة. بعد ذلك، صرت أصحبه معي دائما، وأحاول شرح محتواه لغيري من الأطفال.

لقد فتنني هذا الكتاب لأن <K. گودل> استعمل علم الرياضيات ليبين أن للرياضيات نفسها حدودا لا يمكن تجاوزها، مفندا بذلك إعلان <D. هِلْبَرْت> قبل نحو قرن من الزمان، الذي ادّعى فيه وجود ما يُسمى «نظرية كل شيء للرياضيات»، أي وجود مجموعة **منتهية** finite من المبادئ، التي يمكن الانطلاق منها من دون جهد عقلي يذكر، لاستنتاج جميع الحقائق الرياضياتية، وذلك باتباع منظومة طويلة ومملة من قواعد المنطق الرمزي[5]. لكن <گودل> برهن على أن الرياضيات تتضمن **دعاوى** statements حقيقية لا يمكن إثباتها بتلك الطريقة. وقد بنى استنتاجه على **مُحَيِّرَتَيْن** paradoxes ذاتيتي الإسناد[6] هما: «هذه الدعوى خاطئة» و«هذه الدعوى غير قابلة للإثبات.»[7]

لقد استغرقت محاولتي لفهم برهان گوديل حياتي كلها. والآن، وبعد نصف قرن من الزمان، نَشَرْتُ كتيّبا في هذا الموضوع. وأستطيع الادعاء أنه، إلى حد ما، صياغتي الخاصة لمضمون كتاب <ناگل> و<نيومان>؛ لكنه لا يركّز على برهان گوديل. الشيئان المشتركان الوحيدان بين هذين الكتابين هما حجمهما الصغير وهدفهما الذي يتجلّى في نقد الطرائق الرياضياتية.

وخلافا لطريقة <گوديل> في معالجة الموضوع، تستند طريقتي إلى قياس المعلومات وتبيان أن بعض الحقائق الرياضياتية **غير قابلة للضغط** incompressible في نظرية بسبب تعقيدها الشديد. وتوحي هذه الطريقة الجديدة أن ما اكتشفه گوديل كان قمة الجبل الجليدي، بمعنى أن ثمة عددا غير منتهٍ من **المبرهنات** theorems الرياضياتية الصحيحة التي لا يمكن إثباتها انطلاقا من أي منظومة منتهية من **المسلّمات** axioms.

التعقيد والقوانين العلمية[***]

تبدأ قصتي سنة 1686 التي نشر فيها <W .G. لايبنتز> مقالة فلسفية بعنوان *Discours de métaphysique* (*حديثُ الميتافيزيقا*)، ناقش فيها كيف يمكن للمرء التمييز بين الحقائقِ التي يمكن وصفُها بقانونٍ ما، وتلك الحقائقِ الشاذة التي لا تُستنتَج من أيِّ قانونٍ. وتَردُ فكرة <لايبنتز>، البالغة البساطة والعمق، في الفصل الرابع من كتابه، حيث يذكر أن النظرية يجب أن تكون أبسط من البيانات[*] التي تفسِّرها، وإلاّ لَمَا فَسَّرَت النظريةُ أيَّ

نظرة إجمالية/ التعقيد غير القابل للاختزال[**]

- أثبت <K. كوديل> أن الرياضيات غير تامة incomplete بالضرورة، فهي تحوي دعاوى statements لا يمكن البرهان عليها. ثمة عدد مشهور يسمى أوميكا يبدي درجة عالية من عدم التمام وذلك بتوفير عدد غير منته من المبرهنات التي لا يمكن إثباتها بأي نظام منته من المسلّمات. لذا يستحيل وجود «نظرية كل شيء» للرياضيات.
- العدد أوميكا معرّف تماما [*انظر الإطار في الصفحة 6*]، وله قيمة محدّدة، ومع ذلك لا يمكن حسابه بوساطة أي برنامج حاسوبي منته.
- توحي خاصيات أوميكا بأنه يتعين على علماء الرياضيات صوغ مسلّمات جديدة، بطريقة شبيهة بالطريقة التي يتبعها الفيزيائيون في تقييم النتائج ووضع قوانين أساسية لا يمكن إثباتها منطقيا.
- إن النتائجَ المنسوبة إلى أوميكا مؤسَّسة على مفهوم المعلومات الخوارزمية. وقد تنبأ <W .G. لايبنتز> بعدد كبير من سمات نظرية المعلومات الخوارزمية قبل أكثر من 300 سنة.

(*) THE LIMITS OF REASON
(**) Overview / Irreducible Complexity
(***) Complexity and Scientific Laws
(1) complexity
(2) randomness
(3) theory of everything
(4) Gödel's Proof [انظر: «گوديل وحدود المنطق»، *العلوم*، العدد 10 (2001)، ص 40].
(5) symbolic logic
(6) self-referential أو «فيها إحالة إلى الذات».
(7) [لمعرفة المزيد عن «*نظرية گوديل في عدم التمام*» Gödel's incompleteness theorem انظر: www.sciam.com/ontheweb].



إن وجود أوميكا (Ω) ـ وهو عدد معين معرَّف جيدا لا يُمكن حسابُه باستعمال أيِّ برنامج حاسوبي ـ يقضي على الآمال التي تصبو إلى رياضيات تامة complete تشمل كل شيء، وتُعْزَى فيها صحةُ كلِّ حقيقة صحيحة إلى سبب ما.

شيء. فمفهوم قانونٍ ما يصبح خاليًا من المضمون إذا سُمِحَ بوجود تعقيد رياضياتي شديد، لأن مثل هذا التعقيد يجعلنا قادرين دائما على بناء قانون بصرف النظر عن كمٍّ العشوائية والخلوِّ من النمطية[1] التي تتسم بها البيانات. وبالعكس، فإذا كان القانون الوحيد الذي يفسِّر بعض البيانات بالغَ التعقيد، كانت البيانات في الحقيقة متمردة على القوانين.

وفي هذه الأيام تُقَدَّم فكرتا التعقيد والبساطة بمصطلحات كمية دقيقة بوساطة فرع حديث من الرياضيات يسمى نظرية المعلومات الخوارزميَّة[2]. وفي نظرية المعلومات العادية تُكَمَّمُ المعلومات بطرح السؤال عن عدد **البتَّات** bits اللازمة **لتكويد** encode المعلومات. وعلى سبيل المثال، نحتاج إلى بتة واحدة لترميز إجابة واحدة: نعم/لا. وفي المقابل، تُحَدِّدُ المعلومةُ الخوارزميةُ تبعا لحجم البرنامج الحاسوبي اللازم لتوليد البيانات. وأقلُّ عدد من البتات ـ طول متتالية الأصفار والواحدات ـ يلزم لخزن البرنامج يسمى محتوى المعلومة الخوارزمية من البيانات[3]. وهكذا، فللمتتالية غير المنتهية من الأعداد ...,1,2,3 معلومة خوارزمية صغيرة جدا، إذ يمكن لبرنامج حاسوبي قصير جدا، أن يولِّد هذه الأعداد جميعها. وليس المهم طول البرنامج اللازم لإجراء الحسابات، ولا حجم الذاكرة التي عليه استعمالها ـ إذ المهم هو طول البرنامج بالبتات. (أتجاوز هنا السؤال عن نوع لغة البرمجة المستعملة في كتابة البرنامج ـ فالتعريف الصارم يتطلب تحديد اللغة بدقة، ذلك أن لغات البرمجة المختلفة تولِّد قيما مختلفة إلى حد ما، لمحتوى المعلومة الخوارزمية.)

(1) patternless
(2) algorithmic information theory
(3) the algorithmic information content of the data

وإليكم مثالا آخر: للعدد النيبري $\pi = 3.14159...$ أيضا محتوى معلومة خوارزمية صغير، لأن بالإمكان برمجة خوارزمية قصيرة نسبيا في حاسوب لحساب رقم تلو آخر. وفي المقابل، فإن لعدد عشوائي مكون من مليون رقم فقط، وليكن 1.341285...64، محتوى معلومة خوارزمية أكبر بكثير. وبسبب افتقار هذا العدد إلى نمط محدد، فإن أقصر برنامج لإخراجه سيكون بطول العدد نفسه:

```
Begin
Print "1.341285...64"
End
```

[جميع الأرقام الموجودة بين الرقمين 5 و 6 محتواة في البرنامج.] وليس بإمكان أي برنامج أصغر حساب متتالية الأرقام تلك. وبعبارة أخرى، إن مثل هذا الدفق من الأرقام غير قابل للضغط؛ وأفضل ما يمكننا عمله هو نقلها مباشرة. ويقال عن هذه الأرقام إنها غير قابلة للاختزال[1]، أو عشوائية خوارزميا[2].



تحددُ المعلوماتُ الخوارزميةُ حجمَ البرنامج الحاسوبي الضروري لتوليد مُخرج معيَّن. إن للعدد π قدرا قليلا من المعلومات الخوارزمية لأنه يمكن توليده بوساطة برنامج قصير. وللعدد العشوائي قدر كبير من المعلومات الخوارزمية؛ وأفضل ما يمكن عمله هو إدخال العدد نفسه. ويصح هذا الإجراء في حالة العدد أوميكا.

تُرى، كيف ترتبط مثل هذه الأفكار بالقوانين والحقائق العلمية؟ والجواب هو توفير نظرة برمجية إلى العلم: فالنظرة العلمية تشبه برنامجا حاسوبيا يتنبأ بملاحظاتنا، أي بالبيانات التجريبية. وثمة مبدآن أساسيان يعبِّران عن وجهة النظر هذه. يتجلى المبدأ الأول، كما لاحظ <W. أوف أوكام>، في أنه إذا قُدِّمَتْ نظريتان تفسِّران البيانات، فإن أبسطهما هي المفضلة (موس أوكام)[3]، أي إن أصغر برنامج يحسب الملاحظات هو النظرية الفضلى. أما المبدأ الآخر، فهو رؤية <لايبنتز> التي يمكن صوغها بالمصطلحات الحديثة كما يلي: إذا كان حجم نظرية بالبتات هو نفس حجم بتات البيانات التي تفسرها، فلا قيمة للنظرية، لأنه عندئذ يكون حتى لأكثر البيانات عشوائية نظرية بالحجم نفسه. والنظرية المفيدة هي ضغط للبيانات؛ وأنت تضغط الأشياء في برامج حاسوبية، في وصفات خوارزمية موجزة. وكلما ازدادت النظرية سهولة، تحسَّن فهمنا لما تنصّ عليه.

السبب الكافي(**)

مع أن <لايبنتز> عاش قبل 250 عامًا من ابتكار البرنامج الحاسوبي، فقد اقترب كثيرا من الفكرة المعاصرة للمعلومات الخوارزمية، إذ كانت لديه جميع العناصر الرئيسية لهذه الفكرة، لكنه لم يربطها معا قطّ. فكان يعرف أن من الممكن تمثيل كل شيء بمعلومة

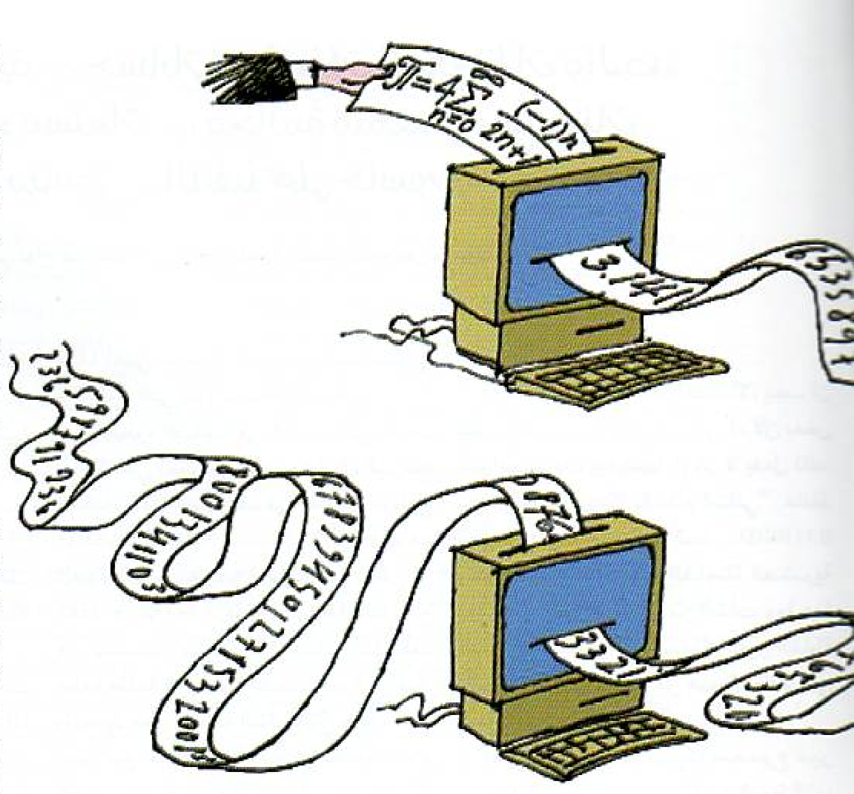
طريقة تعيين أوميگا(*)

لتعرفَ كيفية تحديد قيمة العدد أوميگا، انظر إلى المثال المبسَّط التالي: لنفترض أن للحاسوب الذي نتعامل معه ثلاثة فقط من البرامج التي تتوقف، وهي متتالية البتات الثلاث 110، 11100، 11110. وحجوم هذه البرامج هي، على التوالي، 3، 5، 5 بتة. فإذا كنا نختار البرامج عشوائيا بطريقة نَقْفِ قطعة نقدية في الهواء لكلِّ بتة، فإن احتمال الحصول على كلٍّ منها مصادفة هو بالضبط $1/2^3$، $1/2^5$ و $1/2^5$، لأن احتمال ظهور كل بتة يساوي 1/2. لذا فإن قيمة أوميگا [احتمال التوقف] لهذا الحاسوب بالذات تعطى بالمعادلة التي تعطي قيمة أوميگا وهي:

$$\Omega = 1/2^3 + 1/2^5 + 1/2^5 = .001 + .00001 + .00001 = .00110$$

هذا العدد الثنائي هو احتمال الحصول على واحد من برامج التوقف الثلاثة مصادفة. لذا فهو احتمال كون حاسوبنا سيتوقف. لاحظ هنا أنه بسبب كون البرنامج 110 يتوقف، فإننا لا ننظر في أي برامج تبدأ بـ 110 وحجمها أكبر من ثلاث بتات. فمثلا، لا ننظر في البرنامج 1100 أو 1101، أي إننا لا نضيف حدودَ 0.0001 إلى مجموع كلٍّ من هذه البرامج. ونحن نعتبر جميعَ البرامج التي هي أطول، أي 1100 وهلم جرًا، محتواة في توقف 110. وثمة طريقة أخرى للتعبير عن هذا، وذلك بأن نقول: إن البرامج تكون محددة ذاتيًا self-delimiting، فحين توقفها، لا تستمر في طلب مزيد من البتات.

(*) How Omega Is Defined
(**) Sufficient Reason
(1) irreducible
(2) algorithmically random
(3) Occam's razor



ثنائية[1]، وقد بنى إحدى أولى الآلات الحاسبة، وكان يقدّر قوةَ الحاسبات حقَّ قدْرها، وناقش موضوع التعقيد والعشوائية.

ولو تسنّى لـ‹لايبنتز› وضعُ هذه الأشياء في بوتقة واحدة، فلربما تمكّن من التصدي لواحد من الأركان الأساسية للفلسفة، وهو مبدأ السبب الكافي، الذي ينص على أن حدوث أي شيء يُعزى إلى سببٍ ما. يضاف إلى ذلك أنه إذا كان شيءٌ ما صحيحًا، فإن صحته لابد أن تُعْزَى إلى سبب ما. وقد يصعب أحيانا تصديق ذلك، نتيجة ما يعتري حياتنا اليومية من فوضى وشواش[2]، ونتيجة المد والجزر اللذيْن يطرآن على التاريخ البشري. بيد أنه حتى لو لم يكن بمقدورنا دائما رؤية سبب (ربما لأن ذلك يتطلب إجراء سلسلة من المحاكمات العقلية الطويلة والحاذقة)، فإن الله، كما أكّد ‹لايبنتز›، قادر على رؤية السبب. السبب موجود! وفي هذا كان ‹لايبنتز› على وفاق مع الإغريق الذين كانوا أول من قدم هذه الفكرة.

وبالطبع، يؤمن الرياضياتيون بالسبب وبمبدأ ‹لايبنتز› في السبب الكافي، لأنهم يسعون دائما إلى البرهان على أي شيء. وبصرف النظر عن مقدار الأدلة المقدمة لإثبات صحة مبرهنة، حتى لو كان هناك ملايين من الأمثلة التي تدعم ـ صحتها، فإن الرياضياتيين يتطلبون حلا للحالة العامة، ولن يرضيهم شيء أقلّ من ذلك.

وهذا هو المجال الذي يمكن فيه لمفهوم المعلومات الخوارزميّة أن تقدّم إسهامها المثير المفاجئ في الحوار الفلسفي المتعلق بمناهل المعرفة وحدودها، إذ يبين هذا المفهوم أن ثمة حقائق رياضياتيّة تكون صحيحة من دون سبب، وهذا كشف يعارض مبدأ السبب الكافي.

وفي الحقيقة، وكما سأوضح لاحقا، فقد تبيّن أن عددًا غير منتهٍ من الحقائق الرياضياتية غير قابل للاختزال، وهذا يعني عدم وجود نظرية تفسّر سببَ كونها صحيحة. وهذه الحقائق ليست غير قابلة للاختزال **حسابيا** computationally فحسب، ذلك أنها غير قابلة للاختزال منطقيا أيضا. والسبيل الوحيد «لإثبات» هذه الحقائق هو افتراضُها مباشرة مسلّمات جديدة من دون إيراد حجج على ذلك مطلقا.

إن مفهوم «المسلّمة» يرتبط ارتباطا وثيقا بفكرة عدم قابلية الاختزال المنطقي. فالمسلّمات هي حقائق رياضياتية نقبلها ولا نحاول إثباتها انطلاقًا من مبادئ أبسط منها. وتُبْنَى جميع النظريات الرياضياتية على مسلّمات، ثم يجري استنباط نتائج منها تسمى **مبرهنات** theorems. وهذا ما فعله إقليدس في الإسكندرية قبل ألفي سنة. وما رسالته في **علم الهندسة** geometry ـ التي سماها الأصول ـ إلا نموذج تقليدي (كلاسيّ) للإجراءات الرياضياتية.

وفي اليونان القديمة، إذا كنت تريد إقناع مواطنيك ليصوتوا معك على أمرٍ ما، وجب عليك أن تجري معهم محاكمات منطقية ـ وإنني أخمّن أنّ هذا النهج هو الذي جعل اليونانيين يتوصلون إلى الفكرة التي مفادها أنه، في الرياضيات، يتعين عليك البرهان على الأشياء بدلا من أن تقوم بمجرد اكتشافها تجريبيا. وفي المقابل، يبدو أن الحضارات التي سبقت الحضارة اليونانية ـ حضارات بلاد ما بين النهرين ومصر ـ كانت تعتمد على التجربة. ومن المؤكد أن استعمال المحاكمات المنطقية كان نهجًا جدَّ مفيد، وهو الذي أدى إلى الرياضيات الحديثة والفيزياء الرياضياتية وجميع ما يرتبط بها، بما في ذلك تقانة بناء تلك الآلة الرياضياتيّة المنطقية جيدا، ألا وهي الحاسوب.

تُرى، هل ما أقوله هو أن هذا النهج الذي ظلت تسلكه العلوم والرياضيات طوال أكثر من ألفي سنة أخذ في التداعي والانهيار؟ نعم، هذا ما أريد قوله إلى حد ما. وسأختار **مثالي المعاكس** counlerexample، الذي يوضح القوة المحدودة للمنطق والعقل، من مجموعة غير منتهية من الحقائق الرياضياتية غير القابلة للإثبات. هذا المثال هو العدد الذي أسميه **أوميكا** Omega.

العدد أوميكا(*)

جاءت أول خطوة على الطريق إلى أوميكا من بحث شهير نُشر بعد 250 عاما بالضبط من نشر مقالة ‹لايبنتز›. ففي عام 1936،

(*) The Number Omega

(1) binary information

(2) choas

الفيزياء: نظرية ← حسابات ← تنبؤات للملاحظات والرصد
الرياضيات: مسلمات ← محاكمة منطقية ← مبرهنات
الحسابات: برنامج ← التنفيذ على حاسوب ← مخرجات

في نواح عدة، تشبه الفيزياء والرياضيات تنفيذ برنامج على حاسوب.

وفي عدد من مجلة الجمعية الرياضياتية اللندنية[1] بدأ ‹A. M. تورينك›[2] عصر الحواسيب بتقديمه نموذجًا رياضياتيًا لحاسوب رقمي بسيط، غير مصمم لغرض خاص، وقابل للبرمجة. وقد طرح تورينك حينذاك مسألة عما إذا كان بمقدورنا أن نحدِّدَ ما إذا كان برنامج حاسوبي سيتوقف في وقت من الأوقات أو لا. وهذه هي مسألة التوقف الشهيرة لتورينك[3].

وبالطبع، فعندما تشغِّل برنامجًا، يمكنك أن تكتشف في نهاية المطاف أنه يتوقف إذا توقف فعلا. والمشكلة - وهي مشكلة أساسية جدا - هي أن تقرر متى تُوقِفُ برنامجًا لا يتوقف. يمكن حل هذه المسألة في عدد كبير من الحالات الخاصة، لكن ‹تورينك› بيَّن أن تقديم حل عام لها شيء مستحيل. فليس من الممكن بتاتًا أن تحدد لنا خوارزميّة، أو نظرية رياضياتية البرامجَ التي تتوقف، وتلك التي لا تتوقف[4]. وبالمناسبة، عندما أقول «برنامج» بالمصطلحات الحديثة، فأنا أعني تسلسل البرنامج الحاسوبي والبيانات التي تُقْرأ بوساطة البرنامج.

الخطوة التالية في الطريق إلى العدد أوميگا هي النظر في مجموعة كل البرامج الممكنة. فهل سيتوقف في وقت ما برنامج اختِيرَ عشوائيا؟ احتمال حدوث ذلك هو العدد الذي سميته أوميگا. أولا، عليَّ أن أحدد طريقة أخذ برنامج عشوائيا. البرنامج هو، ببساطة، سلسلة من البتات، لذا أَنْقُفُ قطعة نقدية في الهواء لتحدد قيمة كل بتة. ولتحديد طول سلسلة البتات التي يتألف منها البرنامج، تَابِعْ نَقْفَكَ للقطعة النقدية مادام الحاسوب يطلب بتة أخرى للإدخال. أوميگا هو بالضبط احتمال توقف الحاسوب أخيرا بعد تزويده **بدفق** stream من البتات العشوائية بهذه الطريقة. (وتتوقف القيمة العددية الدقيقة لأوميگا على اختيار لغة برمجة الحاسوب، لكن الخاصيات المدهشة لأوميگا لا تتأثر بهذا الاختيار. وما إن تختار لغةً، فإنك تجد قيمة محدّدة لأوميگا، تمامًا مثل π أو العدد 3).

وبسبب كون أوميگا احتمالا، يجب أن يكون أكبر من 0 وأصغر من 1، لأن بعض البرامج يتوقف وبعضها الآخر لا يفعل ذلك. تَصَوَّرْ كتابةَ أوميگا بالنظام الثنائي[5]. عندئذ تحصل على شيء ما من قبيل ...0.1110100 وتكوِّن هذه البتات بعد الفاصلة العشرية دفقًا غير قابل للاختزال من البتات، وما هذا الدفق إلاَّ حقائقنا الرياضياتية غير القابلة للاختزال (وكل واحدة من هذه الحقائق هي البتة 0 أو البتة 1).

من الممكن تحديد أوميگا بمجموع غير منته، وكل برنامج من N بتة من النمط الذي يتوقفُ، يُكَوِّنُ بالضبط $1/2^N$ من هذا المجموع [*انظر الإطار في الصفحة 6*]. وبعبارة أخرى، فكل برنامج ذي N بتة ويتوقف، يضيف 1 إلى البتة التي ترتيبها N في النشر الثنائي لأوميگا. فإذا ضَمَمْتَ جميعَ بتّات جميع البرامج التي تتوقف، حَصلْتَ على القيمة الدقيقة لأوميگا. قد يجعلك هذا الوصفُ تعتقد أنك قادر على حساب أوميگا بدقة، مثلما تفعل عند حسابك للجذر التربيعي للعدد 2، أو حسابك للعدد π. لكن الأمر ليس كذلك - فمع أن أوميگا مُعَرَّفَة تماما، وأنها عدد محَدَّدٌ، غير أنَّ من المستحيل حسابها بدقة تامة.

يمكننا التوثق من أن أوميگا تستعصي على الحساب لأن معرفة أوميگا ستمكّننا من حل مسألة تورينك في التوقف، لكننا نعرف أن هذه المسألة غير قابلة للحل. وبعبارة أكثر تحديدًا، فإن معرفة أول N بتة في أوميگا ستمكِّنك من توكيد، أو نفي، ما



إن نظرية علمية هي مثل برنامج حاسوبي يتنبأ بملاحظتنا للكون. والنظرية المفيدة هي ضغط للبيانات، فاستنادا إلى عدد صغير من القوانين والمعادلات، يمكن حساب عوالم البيانات بأكملها.

(١) Proceedings of the London Mathematical Society

(٢) انظر: «*أفكار آلان تورينك المنسية في علم الحاسوب*»، العلوم، العدد 1 (2000) ص 20.

(٣) Turing's famous halting problem

(٤) للاطلاع على برهان حديث لمسألة تورينك، انظر WWW.sciam.com/ontheweb

(٥) binary system

ما السبب في كون العدد أوميگا غير قابل للضغط؟(*)

أريدُ إثبات أنّ أوميگا غيرُ قابل للضغط ـ أي إننا لا نستطيع استعمال برنامج حجمه أصغر كثيرا من N بتة لحساب بتات أوميگا الأولى التي عددها N. يتضمن الإثبات مجموعة دقيقة من الحقائق المتعلقة بالعدد أوميگا ومسألة تورينگ في التوقف المتصلة به اتصالا وثيقا. وسأستفيد من الحقيقة القائلة بأن مسألة التوقف للبرامج التي يصل طولها إلى N بتة لا يمكن حلها ببرنامج طوله أقل من N بتة [انظر: WWW.sciam.com/ontheweb].

واستراتيجيتي في البرهان على أن أوميگا غير قابل للضغط هي تبيان أنه إذا توافرت لدينا بتات أوميگا الأولى التي عددها N، فإنها تنبئني بكيفية حلّ مسألة تورينگ في التوقف للبرامج التي يصل طولها إلى N بتة. ويترتب على هذه النتيجة أنه لا يمكن لأي برنامج طوله أقل من N بتة حساب بتات أوميگا التي عددها N. [لو وُجد برنامج من هذا القبيل، لأمكنني استعماله لحساب بتات أوميگا الأولى التي عددها N، ثم استعمال تلك البتات لحل مسألة تورينگ حتى N بتة ـ وهذه مهمة مستحيلة لمثل هذا البرنامج القصير].

سنرى الآن كيف أن معرفة N بتة من أوميگا تمكّنني من حل مسألة التوقف ـ لتحديد تلك البرامج التي تتوقف ـ وبالنسبة إلى جميع البرامج التي يصل حجمها إلى N بتة. سنعمل ذلك بإجراء الحسابات على مراحل. نختار العدد الصحيح K لتمييز المرحلة التي نحن فيها: $K = 1,2,3,...$

في المرحلة K، نشغّلُ البرامج وصولاً إلى تلك التي حجمها K بتة مدة K ثانية. بعد ذلك نحسب احتمالاً للتوقف سنسميه أوميگا (ΩK)، استناداً إلى جميع البرامج التي تتوقف بحلول المرحلة K.

سيكون ΩK أقلّ من أوميگا لأنه يستند فقط إلى مجموعة جزئية من جميع البرامج التي سوف تتوقف في النهاية، على حين أن أوميگا يستند إلى جميع البرامج.

ومع تزايد K، تصبح قيمة ΩK أقرب فاقرب إلى القيمة الحقيقية لأوميگا. وعند اقترابها من القيمة الحقيقية لأوميگا، ستكون البتات الأولى لـΩK مضبوطة أكثر فأكثر ـ وهذا نفس ما يحدث للبتات المقابلة لأوميگا.

وعندما تصبح البتات الأولى التي عددها N مضبوطة، فأنت تعرف أنك قابلت جميع البرامج التي تتوقف وصولا إلى تلك التي حجمها N بتة [لو كان ثمة برنامج آخر حجمه N بتة، ففي مرحلة قادمة K، سيتوقف هذا البرنامج، وهذا يزيد من قيمة ΩK لتصبح أكبر من أوميگا، وهذا مستحيل.]

لذا يمكننا استعمال أول N بتة لأوميگا في حل مسألة التوقف لجميع البرامج وصولا إلى تلك التي حجمها N بتة. لنفترض الآن أنه يمكننا حساب أول N بتة لأوميگا ببرنامج طوله أقصر كثيرا من N بتة. عندئذ يمكن أن ندمج هذا البرنامج بذاك الذي ينفّذ خوارزمية ΩK لتوليد برنامج طوله أقصر من N بتة بغية حل مسألة تورينگ في التوقف، وصولا إلى برامج طولها N بتة.

لكننا نعرف، كما سبق وذكرنا، أن مثل هذه البرامج ليس لها وجود، ومن ثم فإن أول N بتة في أوميگا تتطلب لحسابها برنامجا طوله N بتة تقريبًا. وهذا جيد تماما لوصف العدد أوميگا بانه غير قابل للضغط أو غير قابل للاختزال. [إن ضغط N بتة ليصبح عددها N بتة تقريبا ليس شيئا جوهريا عندما يكون العدد N كبيرًا.]

<G. C.>

إذا كان كل برنامج يصل حجمه إلى N بتة سيتوقف في وقت من الأوقات [*انظر الإطار في هذه الصفحة*]. ويترتب على هذا أنك تحتاج إلى برنامج حجمه N بتة على الأقل لحساب N بتة من أوميگا.

لاحظ أنني لم أقل إن من المستحيل



تمثال للعالم <W .G>. لايبنتز> مُقام في مدينة لايبزيك بألمانيا. لقد تنبأ <لايبنتز> بكثير من سمات نظرية المعلومات الخوارزمية الحديثة قبل أكثر من 300 عام.

حساب بعض أرقام أوميگا. وعلى سبيل المثال، إذا كنا نعرف أن البرامج الحاسوبية 0، 10، 110، تتوقف جميعها، فإننا سنعرف أن الأرقام الأولى لأوميگا هي 0.111. والنقطة الأساسية هي أن الأرقام الأولى التي عددها N في أوميگا لا يمكن حسابها باستعمال برنامج أقصر بكثير من برنامج طوله N بتة.

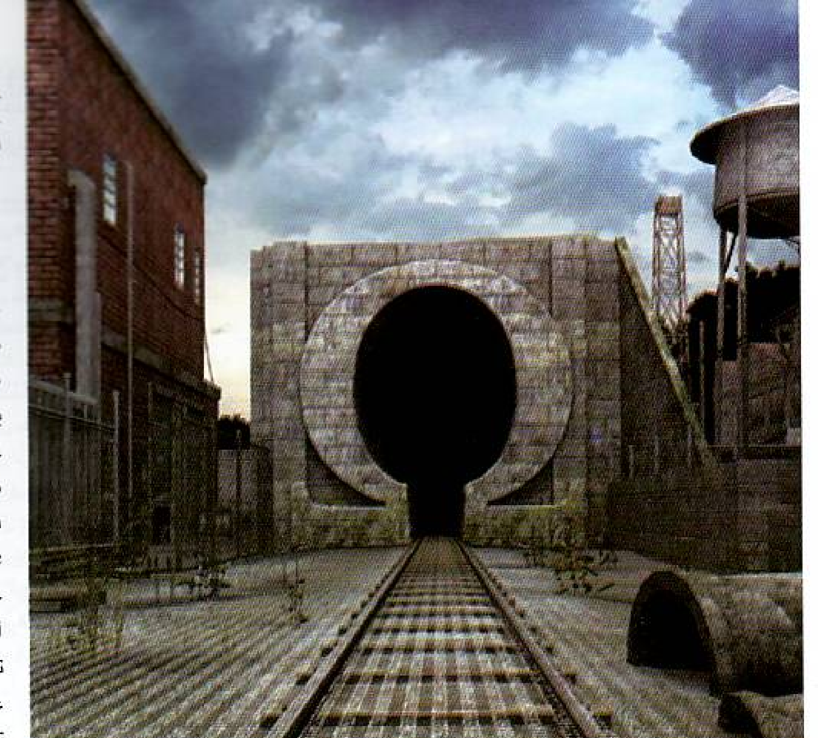
أهم شيء هو أن أوميگا تزوّدنا بعدد غير منته من هذه البتّات غير القابلة للاختزال. وفي حال أي برنامج منتهٍ، مهما بلغ طوله ببلايين البتات، نجد عددا غير منته من البتات التي لا يستطيع البرنامج حسابها. وإذا كان لدينا أي مجموعة منتهية من المسلّمات، وجدنا عددا غير منته من الحقائق غير قابلة للبرهان استنادا إلى ذلك النظام من المسلّمات.

وبسبب كون أوميگا غير قابل للاختزال، فمن الممكن الاستنتاج مباشرة استحالة وجود «نظرية كلّ شيء» للرياضيات بأجمعها. إن عددا غير منته من بتات أوميگا تكوّن حقائق رياضياتية (سواء أكانت كل بتة 0 أم 1) لا يمكن استخلاصها من أي مبادئ أبسط من متتالية البتات نفسها. لذا تتسم الرياضيات بتعقيد غير منته، في حين تتسم أي «نظرية كل شيء» بمفردها بتعقيد منته فقط، ولا يمكنها أن تعبّر عن الغنى الكلّيّ لعالم الحقيقة الرياضيّاتية بأكمله.

لا تعني هذه النتيجة أن البراهين ليست شيئا جيدا. وبالطبع، فأنا لست مناهضًا لإعمال العقل. فمجرد كون بعض الأشياء غير قابلة للاختزال، لا يعني أنه يتعين علينا التوقف عن إعمال العقل. لقد كانت المبادئ غير القابلة للاختزال ـ المسلّمات ـ دائما جزءا من الرياضيات. وما تبيّنه أوميگا أنه يوجد من مثل هذه المبادئ قدر أكبر بكثير مما كان يُعتقد.

لذا ربما كان يتعين على الرياضياتيين ألاّ يحاولوا إثبات كل شيء. وأحيانا، يجب عليهم إضافة مسلّمات جديدة، وهذا ما ينبغي عليك عمله إذا ووجهتَ بحقائق غير قابلة للاختزال. وتكمن المشكلة هنا في التوثق من أنها غير قابلة للاختزال! وإلى حد ما، فإن القول بأن شيئا ما غير قابل للاختزال يعني التوقف عن معالجته والقول بأن من المستحيل البرهان عليه. لكن علماء

(*) Why Is Omega Incompressible



تمثل أوميكا جزءا من الرياضيات يصعب فهمه إلى حد ما. إن برنامجا حاسوبيا منتهيا يسمح بإظهار عدد منته فقط من أرقام أوميكا، أما الأرقام المتبقية فتظل مبهمة.

الرياضيات لا يفعلون ذلك البتة، وهم في ذلك يختلفون اختلافا جذريا مع زملائهم من الفيزيائيين، الذين يسعدهم أن يكونوا ذرائعيين (براكماتيين)، وأن يستعملوا محاكمة منطقية مقبولة بدلا من تقديم برهان صارم ودقيق. وتَحْدُو الفيزيائيين رغبة في إضافة مبادئ جديدة ـ قوانين علمية جديدة ـ لفهم حقول تجريبية جديدة. وهذا يجعلني أطرح ما أظنه سؤالا مثيرا جدا للاهتمام هو: هل الرياضيات مثل الفيزياء؟

الرياضيات والفيزياء(*)

وجهة النظر التقليدية السائدة هي أن الرياضيات والفيزياء علمان مختلفان تماما. فالفيزياء تقدم وصفا للعالَم، وتعتمد على التجربة والملاحظة. والقوانين الخاصة التي تحكم العالَم ـ سواء أكانت قوانين نيوتن في الحركة أم النموذج المعياري[1] في فيزياء الجسيمات ـ يجب تعيينها تجريبيا، ثم وضعها بوصفها مسلَّمات لا يمكن البرهان عليها منطقيا، إذ يكفي التحقق منها بالتجربة.

وفي المقابل، فإن الرياضيات مستقلة إلى حد ما عن العالَم. فنتائجها ومبرهناتها، كتلك التي تحدد خاصيات الأعداد الصحيحة والأعداد الحقيقية، لاتعتمد بأي حال من الأحوال على الطبيعة الخاصة للواقع الذي نعيشه، فالحقائق الرياضياتية صحيحة في أي عالَم.

ومع ذلك، ثمة تشابه بين الفيزياء والرياضيات. ففي الفيزياء، بل وفي العلوم عامة، يضغط العلماءُ ملاحظاتهمُ التجريبيةَ في قوانينَ علمية. وبعد ذلك، يبيِّنون كيف أن هذه الملاحظات يمكن استنتاجها من هذه القوانين. وفي الرياضيات أيضا يحدث شيء من هذا القبيل ـ إذ يضغط علماءُ الرياضيات تجاربَهم الحسابيةَ في مسلَّمات رياضياتية، ثم يبيِّنون كيف يمكن استنتاجُ المبرهنات من هذه المسلَّمات.

ولو كان <هلبرت> على حق، لكانت الرياضيات نظاما مغلقا لا متَّسع فيه لأفكار جديدة، أي لكان ثمة نظرية سكونية مغلقة لكل شيء وللرياضيات جميعها، ولكان هذا أشبه بالدكتاتورية. بيد أنه إذا كان للرياضيات أن تتقدم، فنحن بحاجة في الحقيقة إلى أفكار جديدة ومجال واسع للإبداع. ولا يكفي في ذلك أن نستخرج آليا جميع النتائج الممكنة لعدد مثبت من المبادئ الأساسية. فأنا أفضِّل أكثر وجودَ نظام مفتوح، ولا أحبّ طرائقَ التفكير المتسلطة[2].

ثمة شخص آخر ظن أن الرياضيات مثل الفيزياء هو <I. لاكاتوس> الذي غادر المجر عام 1956 وعمل في وقت لاحق بإنكلترا في مجال فلسفة العلم. وهناك جاد <لاكاتوس> بمصطلح عظيم أسماه «شبه تجريبي»[3]، وهو يعني أنه على الرغم من عدم وجود تجاربَ حقيقية يمكن إجراؤها في الرياضيات، فهناك شيء ما شبيهٌ بذلك يحدث في هذا العلم. فمثلا، تنصّ **مخمّنة كولدباخ** Goldbach conjecture على أن من الممكن التعبير عن أي عدد زوجي أكبر من 2 بمجموع عددين أوليَّيْن. وقد جرى التوصل إلى هذه المخمنة تجريبيا وذلك بالتحقق من أنها صحيحة لكل عدد زوجي يخطر بالبال. وهذه المخمنة لم تثبت صحتها حتى الآن، لكن جرى التثبّت من صحتها حتى العدد 10^{14}.

وأظن أن الرياضيات شبه تجريبية. وبكلمات أخرى، أشعر بأن الرياضيات مختلفة عن الفيزياء (التي هي علم تجريبي تماما)، لكن هذا الاختلاف قد لا يكون بالقدر الذي يظنه معظم الناس.

لقد عشتُ في عالَمَي الرياضيات والفيزياء كليهما، ولم أظن في أيّ وقت وجودَ اختلاف واسع بين هذين الميدانين. والاختلاف يكمن في الدرجة وفي التوكيد، لكنه ليس اختلافا مطلقا. وعلى الرغم من كل ما يقال، فقد تطورت الرياضيات والفيزياء معا، ويجب على العاملين في الرياضيات ألاّ يعزلوا أنفسهم عن الآخرين، وألاّ ينأوا بأنفسهم عن المناهل الغنية للأفكار الجديدة.

مسلَّمات رياضياتية جديدة(**)

إن فكرة إضافة مزيد من المسلمات ليست فكرة غريبة على علم الرياضيات. وثمة مثال مشهور على ذلك هو مسلَّمة التوازي في الهندسة الإقليدية التي تنص على أنه إذا كانت نقطة غيرَ واقعة على خط مستقيم، فيوجد

(*) Mathematics and Physics
(**) New Mathematical Axioms
(1) Standard Model
(2) authoritarian
(3) quasi - empirica

مستقيم واحد فقط يمرّ بالنقطة ولا يقطع بتاتا المستقيمَ الأصليَّ. لقد أمضى علماء الهندسة قرونا وهم يفكرون فيما إذا كان من الممكن البرهان على تلك النتيجة باستعمال بقية مسلمات إقليدس، لكنهم لم ينجحوا في ذلك. وأخيرا، أدرك الرياضياتيون أن بمقدورهم إحلالَ مسلّمات مختلفة محلَّ المسلّمة الإقليديّة، وهذا أسفر عن استحداث الهندسات اللاإقليدية non-Euclidean gemoetry للفضاءات المنحنية، مثل سطح الكرة أو سطح سرج الفرس.

وثمة أمثلة أخرى هي قانون المنتصف المستثنى[1] في المنطق ومسلّمة الاختيار[2] في نظرية المجموعات. ويَسْتَعِدُ معظم الرياضياتيين بالإفادة من تلك المسلّمات في براهينهم، على حين لا يحبذ آخرون ذلك، مفضّلين ما يسمى المنطق الحدسي[3] أو الرياضيات الإنشائية[4]. فالرياضيات ليست بنية ذات كيان واحد منفرد لحقيقة مطلقة.

وثمة مسلمة أخرى مثيرة جدًا للاهتمام هي المخمّنة «P لا يساوي NP»، حيث P و NP اسمان لصنفين من المسائل. فالمسألة التي تنتمي إلى الصنف NP تتصف بأنه عندما يُقْتَرَحُ حلٌ لها، فمن الممكن التحقق من صحته بسرعة. فمثلا، إذا أخذنا المسألة التالية «أوجد عوامل العدد 8633»، فمن الممكن التحقق بسرعة من صحّة الحل المقترح وهو «97، 89»، وذلك بضرب هذين العددين. (ثمة تعريف تقني لكلمة «بسرعة»، لكن تفصيلاته غير مهمة هنا.) أما المسألة التي تنتمي إلى الصنف P، فهي مسألة يمكن حلّها بسرعة حتى في حال عدم تقديم حل لها. والسؤال هو ـ ولا أحد يعرف جوابه ـ هل كل مسألة من الصنف NP يمكن أن تحل بسرعة؟ (أي هل توجد طريقة سريعة لإيجاد عاملي 8633؟) وبعبارة أخرى، هل الصنف P هو نفس الصنف NP؟ هذه إحدى المسائل التي تنتمي إلى قائمة المسائل[5] التي تُقَدِّمُ جائزةً قدرها مليون دولار إلى كلٍّ من يحلّ إحداها.

وعلى نطاق واسع، يعتقد علماء الحاسوب بأن P لا يساوي NP، لكن لم يُقَدَّمْ حتى الآن برهان على ذلك. وقد يقول قائل إن ثمة عددا كبيرا من الأدلة شبه التجريبية يشير إلى أن P لا يساوي NP. إذًا، هل يجب اعتماد الدعوى «P لا يساوي NP» بوصفها مسلّمة؟ الواقع أن هذا ما فعله العاملون في علم الحاسوب. وثمة علاقة وثيقة بهذا الموضوع تتجلى في أمْنِ أنظمة تعمية[6] معينة تُسْتَعْمَلُ في جميع أنحاء العالم. ومن المعتقد أن تكون هذه الأنظمة منيعة على الاختراق، لكنْ ما من أحد يستطيع إثبات ذلك.

الرياضيات التجريبية[*]

ثمة مجال آخر للتشابه بين الرياضيات والفيزياء، ألا وهو الرياضيات التجريبية، ونعني بها اكتشافَ نتائجَ رياضياتية جديدة عن طريق النظر إلى كثير من الأمثلة باستعمال حاسوب أو غير ذلك. ومع أن إقناع هذه الطريقة لا يرقى إلى درجة إقناع برهان قصير، إلاّ أنها يمكن أن تكون أكثر إقناعا من برهان بالغ التعقيد والطول، ثم إنها كافية تماما في تحقيق بعض الأغراض.

في الماضي، كان يجري بحماس شديد دفاع عن هذه الطريقة من قِبَل كلٍّ من <G. پوليا> و<لاكاتوس>، وهما من المؤمنين بالتعليم الذي يجعل الطلبة يتوصلون إلى معرفة الأشياء بأنفسهم، وبالطبيعة شبه التجريبية للرياضيات. وقد مارس هذا النهجَ وسوّغه أيضا <S. ولفرام> في كتابه بعنوان *A New Kind of Science*، الذي ألفه عام 2002.

قد تكون العمليات الحاسوبية المطوّلة مقنعة جدا، لكنها هل تجعل البرهان شيئًا غير ضروري؟ الجواب نعم و لا. وفي الحقيقة، فإنها توفّر نوعًا مختلفًا من البيّنات. وفي الحالات المهمة، فإني أحاجُّ في أن هذين النوعين من البيّنات كليهما مطلوبان، لأن البراهين قد تكون خاطئة. وبالعكس، فقد تصاب الأبحاث الحاسوبية بحظّ سيئ، إذ تتوقف مباشرةً قبل مقابلة مثال معاكس يثبت بطلان النتيجة المخمّنة.

هذه المواضيع جميعها مثيرة للفضول، لكنها مازالت مستعصية على الحل. وفي هذا العام (2006)، الذي يوافق مرور 50 عاما على نشر مجلة *ساينتفيك أمريكان* مقالة عن برهان كوديل، فمازلنا لا نعرف ما **لعدم التمام** incompleteness من أهمية بالغة. نحن لا نعرف ما إذا كان عدم التمام ينبئنا بأن الرياضيات يجب أن تُمارَسَ بطريقة مختلفة إلى حدٍّ ما. وربما يتسنّى لنا معرفةُ الجواب بعد خمسين سنة أخرى. ■

(*) Experimental Mathematics
(1) excluded middle
(2) axiom of choice
(3) intuitionist logic
(4) constructive mathematics
(5) Turing's famous halting problem
(6) cryptographic systems

المؤلف

Gregory Chaitin

باحث في مركز بحوث <T. J. واطسون> التابع للشركة IBM. وهو، أيضا، أستاذ فخري في جامعة بوينس آيرس، وأستاذ زائر في جامعة أوكلند. وقد أسس مع <N. A. كَلْمَاكورَف> نظرية المعلومات الخوارزمية. وتشمل كتبه التسعة البحثين غيرَ التَّخَصُّصِيَّيْن: **محادثات مع رياضياتيّ** Conversations with a Mathematician *و* **الرياضيات المترفّعة!** Meta Math! *المنشورين في عامي 2002 و 2005 على التوالي.*

مراجع للاستزادة

For a chapter on Leibniz, see **Men of Mathematics**. E. T. Bell. Reissue. Touchstone, 1986.

For more on a quasi-empirical view of math, see **New Directions in the Philosophy of Mathematics**. Edited by Thomas Tymoczko. Princeton University Press, 1998.

Gödel's Proof. Revised edition. E. Nagel, J. R. Newman and D. R. Hofstadter. New York University Press, 2002.

Mathematics by Experiment: Plausible Reasoning in the 21st Century. J. Borwein and D. Bailey. A. K. Peters, 2004.

For Gödel as a philosopher and the Gödel-Leibniz connection, see **Incompleteness: The Proof and Paradox of Kurt Gödel**. Rebecca Goldstein. W. W. Norton, 2005.

Meta Math!: The Quest for Omega. Gregory Chaitin. Pantheon Books, 2005.

Short biographies of mathematicians can be found at **www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/BiogIndex.html**

Gregory Chaitin's home page is **www.umcs.maine.edu/~chaitin/**



العصر المنسيُّ للشيپات الدماغية(*)

تمرُّ اليوم أعمال <خوزيه دلگادو>(1)، وهو نجم رائد في أبحاث تنبيه الدماغ منذ أربعة عقود، من دون اعتراف يُذكر. ماذا حدث؟

<د. هوركان>

في أوائل سبعينات القرن العشرين كان <خوزيه دلگادو> [أستاذ الفيزيولوجيا في جامعة ييل] أحد أكثر علماء الأعصاب استحسانا وإثارة للجدل في آن معا. ففي عام 1970 حيته مجلة نيويورك تايمز في مقالة افتتاحية باعتباره «رسولا متقدا لمجتمع متحضر نفساني جديد سيتحكم أعضاؤه في وظائفهم الفكرية ويغيرونها.» وأضافت المقالة: مع ذلك، إن بعض زملاء <دلگادو> [في جامعة ييل] رأوا في عمله «إمكانات مخيفة».

وفي نهاية الأمر، كان <دلگادو> أول من طور أكثر تلك التقانات إيهانا والممثلة في **الشيپة الدماغية** brain chip، وهي أداة إلكترونية تستطيع أن **تنابل** manipulate العقل عن طريق استقبال إشارات من عصبونات ونقلها إلى عصبونات أخرى. وتستخدم حاليا شيپات دماغية لسلسلة لونك ومكْگوفين(2) في الخيال العلمي (بدءا من The Terminal Man حتى The Matrix)، أو يجري اختبارها، في معالجة الصرع ومرض پاركنسون والشلل والعمى واعتلالات أخرى. لقد أجرى <دلگادو> منذ عقود تجارب كانت أكثر إثارة في بعض النواحي من أي شيء يتم عمله اليوم؛ إذ اغترس **صفيفات إلكترودية مجهّزة راديويا** radio-equipped electrode arrays دعاها باسم «ستيموسيڤرات» stimoceivers داخل قطط ونسانيس وشمپانزات وجيبونات وثيران (وحتى بشر)، وأظهر أنه يستطيع التحكم في عقول المفحوصين وأبدانهم بكبسة زر.

ولكن بعد أن انتقل <دلگادو> إلى أسبانيا في عام 1974 أفلت سمعته في الولايات المتحدة، ليس من الذاكرة العامة فحسب، بل حتى من العقول والاستشهادات العلمية الأخرى. صحيح إنه شرح نتائجه في أكثر من 500 ورقة معتمدة المرجعية وفي كتاب نقدي واسع لعام 1969، ولكن كل ذلك نادرا ما يذكره الباحثون المعاصرون. وفي الحقيقة فإن العارفين بعمله المبكر يظنون أنه مات. بيد أن <دلگادو> الذي انتقل حديثًا مع زوجته <كارولين> من أسبانيا إلى سانديگو مفعم بالحيوية والصحة، ولديه منظور متميز حول جهود عصرية لمعالجة اعتلالات متنوعة عن طريق تنبيه مناطق نوعية من الدماغ.

نظرة إجمالية / غرائس الدماغ(**)

- ربما يكون <د. M. R. دلگادو> [وهو رائد في تقانة الاغتراس الدماغي] قد أبهر الناس لصده ثورا هائجا بمجرد كبسة زر في أداة ترسل إشارات إلى دماغ الحيوان.
- في أوائل سبعينات القرن العشرين تحول <دلگادو> من محط استحسان إلى محط انتقاد.
- ولكن إنجازاته أعانت على تمهيد الطريق إلى تقانة الاغتراس الدماغي المعاصرة، التي أخذت بالانتعاش هذه الأيام والتي تحسّن حياة مرضى بالصرع واضطرابات حركية أخرى، مثل داء پاركنسون وخلل التوتر dystonie.
- حديثا عاد <دلگادو>، الذي يبلغ حاليا التسعين من عمره، إلى الولايات المتحدة، بعد أن غادرها إلى إسبانيا عام 1974، حاملا آراء قوية حول بشائر ونذر الاستمرار في أبحاث الاغتراس الدماغي.

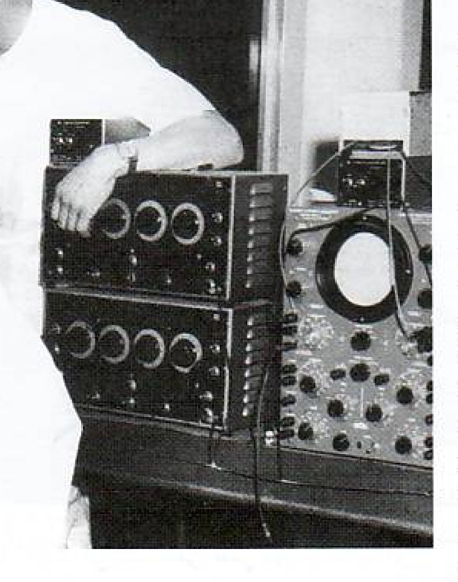
في أثناء فورة بضع الفصوص(***)

ذهب <دلگادو> [المولود في روندا بأسبانيا في عام 1915] لنيل شهادة الطب من جامعة مدريد في الثلاثينات من القرن العشرين. ورغم ما وصمته به الإشاعات من دعمه للنظام الفاشستي لحكم <فرانكو>، فإنه خدم فعليا في السلك الطبي للجيش الجمهوري (الذي كان يعارض <فرانكو> أثناء الحرب الأهلية الأسبانية) يوم كان طالبا في كلية الطب. وبعد أن سحق <فرانكو> الجمهوريين احتُجز <دلگادو> في معكسر تجميع لمدة خمسة أشهر قبل أن يستأنف دراسته ثانية.

لقد قصد في الأصل أن يصبح طبيب عيون على غرار والده، ولكن الشح في مختبر للفيزيولوجيا، إضافة إلى اطلاعه على كتابات عالم الأعصاب الأسباني العظيم <S. R. كاجال>، جعلاه يفتتن «بالأسرار العديدة للدماغ»، وما أقل ما كان معروفا عن ذلك يومها، بل ما أقل ما هو معروف الآن في هذا الصدد! ولقد فتنته تجارب الفيزيولوجي السويسري <W. R. هس> الذي بين في العشرينات من القرن العشرين أنه يستطيع بعث سلوكيات (مثل الغضب والجوع والنعاس) لدى القطط عن طريق تنبيه نقاط مختلفة من أدمغتها كهربائيا بوساطة أسلاك.

وفي عام 1946 حظي <دلگادو> بمنحة زمالة لمدة عام في جامعة ييل، كما قبل في قسم الفيزيولوجيا لهذه الجامعة يوم كان <د. فولتون> رئيسًا له. ويشار إلى أن هذا

(*) THE FORGOTTEN ERA OF BRAIN CHIPS
(**) Overview / Brain Implants
(***) When Lobotomies Were the Rage
(1) Jose Delgado
(2) Long the McGuffins of science fiction



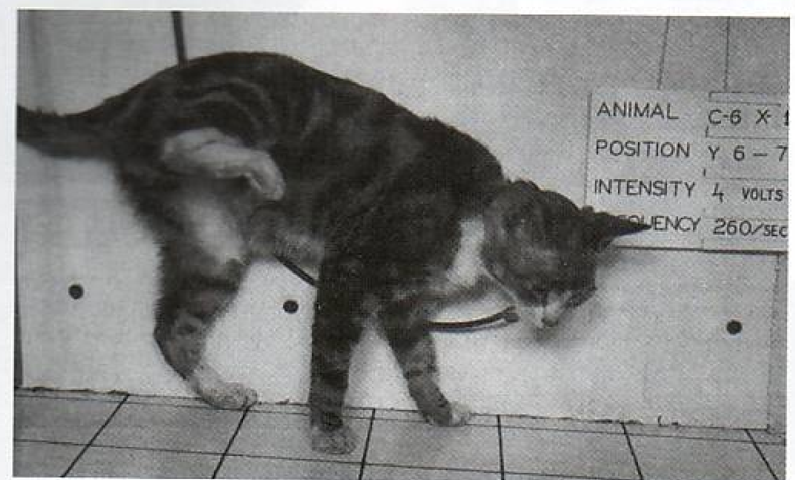
ساعدت ‹كارولين دلكادو› (التي تظهر في الصورة وهي ترصد قراءات تخطيطية دماغية لأحد النسانيس) زوجها منذ اجتماعهما في جامعة ييل في الخمسينات من القرن العشرين.

الأخير أدى دورا حاسما في تاريخ الطب النفساني، إذ ذكر في محاضرة له في عام 1935 ألقاها في لندن أن حيوانا **عُصابيا** neurotic عنيفا من الشمپانزي يدعى بيكي غدا هادئا وطيِّعا بعد أن أجريت له عملية تخريب جراحية للفصين الجبهيين من دماغه، وكان من بين المستمعين للمحاضرة الطبيب النفساني البرتغالي ‹A. مونيز› الذي شرع يجري **عمليات بضع فصوص دماغية** lobotomies على مرضى عصابيين، وادعى إحرازه نتائج ممتازة. وبعد أن نال ‹مونيز› جائزة نوبل في عام 1949 أصبحت عمليات بضع الفصوص معالجات مألوفة بشكل متزايد في الاعتلالات العقلية.

ومما أزعج ‹فولتون› بداية أن طريقته في تهدئة الشمپانزي قد طبقت على البشر، ولكنه لاحقا أصبح مناصرا حذرا **للجراحة النفسية** psychosurgery. أما ‹دلكادو› فلم يتفق مع موقف ناصحيه، ويستذكر في هذا الصدد قائلا: «أعتقد أن فكرة ‹فولتون› و‹مونيز› في التخريب الدماغي كانت رهيبة.» لقد شعر أن الأمر سيكون أكثر محافظة إلى حد بعيد عبر معالجة الاعتلالات العقلية بتطبيق طرائق التنبيه الكهربائي التي أوجدها ‹هس› الذي شارك ‹مونيز› جائزة نوبل عام 1949. ويقول دلكادو: «لقد كانت فكرتي تفادي بَضْع الفصوص، وذلك باللجوء إلى اغتراس إلكترودات في الدماغ.»

لقد كان أحد مفاتيح نجاح ‹دلكادو› العلمي مهارته في الابتكار، وقد أسماه زميل له في جامعة ييل ذات يوم «ساحرا تقانيا». ففي تجاربه الأولى انطلقت أسلاك من إلكترودات مغترسة عبر عظم الجمجمة والجلد إلى أجهزة إلكترونية كبيرة الحجم تسجل البيانات والنبضات الكهربائية المنبعثة. وكانت هذه التركيبة تقيد حركات المفحوصين وتتركهم عرضة للعداوى (للأخماج). ولذلك صمم ‹دلكادو› ستيموسيڤراته المجهزة راديويا بحجم نصف الدولار، بحيث يمكن غرسها كليا في أدمغة المفحوصين.

أدوات تنبيه الدماغ الكهربائية التي ابتكرها ‹J. دلكادو› في أبحاثه حول السلوك والتحكم الحركي، جرى اغتراسها في القرود والنسانيس والثيران والقطط والبشر. ويمكن أن تبقى الإلكترودات مغروسة لمدة تزيد على السنتين.



رفعت القطة رجلها الخلفية استجابة للتنبيه بوساطة إلكترود مغترس في دماغها، ويقول ‹دلگادو› إن القطة لم تبد عدم ارتياح في هذه التجربة، التي جرت في أوائل خمسينات القرن العشرين.

كما تضمنت مداخلاته الأخرى نسخة مبكرة لناظمة قلبية cardiac pacemaker وكيمترودات chemitrodes تستطيع إطلاق كميات مضبوطة من العقاقير داخل مناطق نوعية من الدماغ بشكل مباشر.

وفي عام 1952 شارك ‹دلگادو› في كتابة أول نشرة علمية معتمدة المرجعية تشرح الاغتراس الطويل الأمد لإلكترودات في البشر، وبالتحديد في تقرير أعده ‹R. هيث› [من جامعة تولان]؛ ثم على مدى العقدين التاليين قام ‹دلگادو› باغتراس إلكترودات في نحو 25 مفحوصا من البشر، كان معظمهم من المصابين بالفصام والصرع، وذلك في مستشفى عقلي مهجور حاليا في رودآيلاند. فهو يقول إنه لم يجر هذه العمليات إلا لمرضى ميؤوس منهم، استعصت علتهم على جميع المعالجات السابقة. وفي المراحل المبكرة لغرس إلكتروداته في البشر كان يقوم بالتجريب على الحيوانات ويجري دراسات على ذوي الأدمغة المتضررة ويواكب أعمال الجراح الكندي ‹W. بنفيلد› الذي شرع في الثلاثينات من القرن العشرين في تنبيه أدمغة المصابين بالصرع بوساطة إلكترودات وذلك قبل الجراحة، بغية تقرير ما إذا كان عليه أن يلجأ إلى الجراحة.

ترويض ثور هائج(*)

أظهر ‹دلگادو› أن تنبيه قشرة المخ المحركة يستطيع إثارة ردود فعل بدنية نوعية، مثل حركة الأطراف؛ إذ صرّ أحد المرضى قبضته عندما تنبه، حتى حين حاول مقاومة ذلك. فقد علّق المريض قائلا: «أظن، يا دكتور، أن كهرباءك هذه أقوى من إرادتي.» وثمة مفحوص آخر، وهو يدير رأسه من جانب إلى آخر، قال بأنه يفعل ذلك إراديا، معللا فعله بقوله: «إنني أبحث عن خُفَّيّ.»

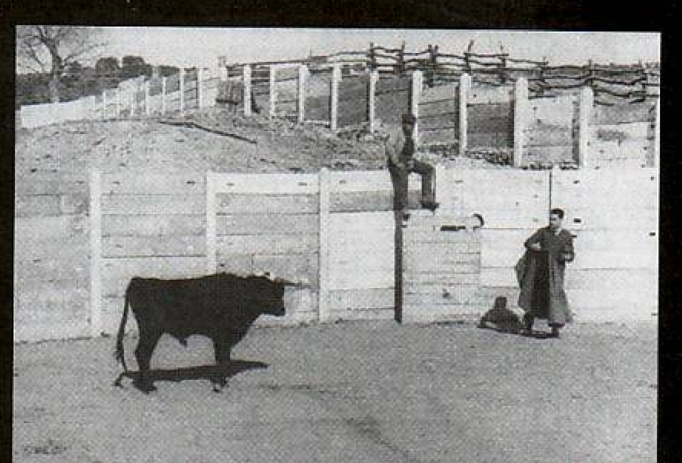
هذا وقد استطاع ‹دلگادو›، عبر تنبيهه مناطق مختلفة من **الجهاز الحوفي** limibic system الذي ينظّم الانفعالات، أن يبعث الخوف والغيظ والشهوة الجنسية والمرح والثرثرة وردود أفعال أخرى، كان بعضها صارخا في شدته. ففي إحدى التجارب، نبه ‹دلگادو› واثنان من زملائه [من جامعة هارڤارد] **الفص الصدغي** temporal lobe لامرأة مصابة بالصرع عمرها 21 عاما، فيما كانت هادئة تعزف على الجيتار، فإذا بها تستشيط غيظا وتهشم جيتارها على الحائط كيفما اتفق.

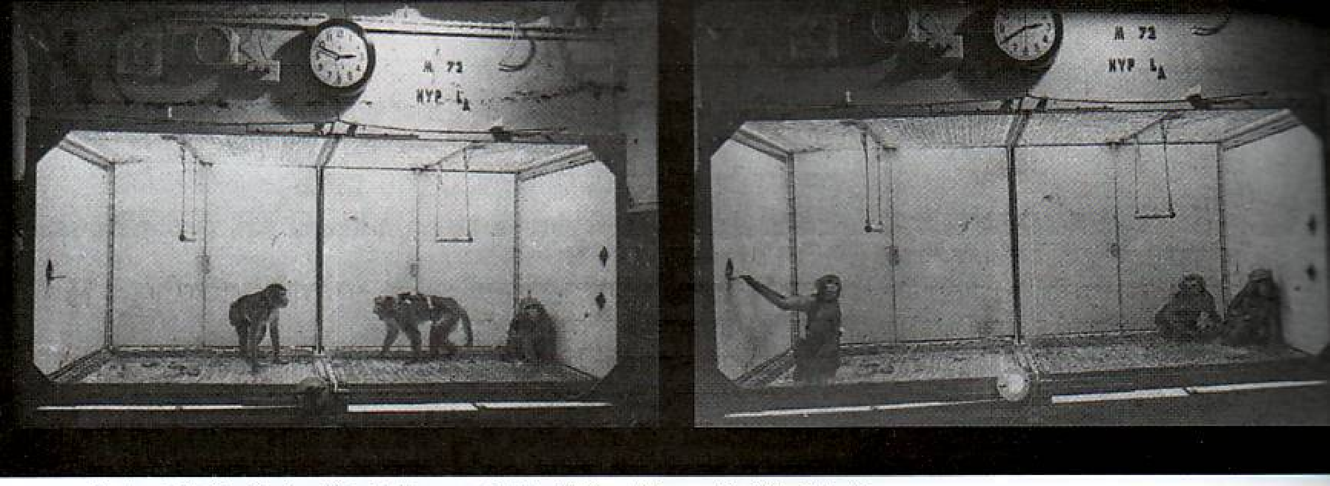
ولعل أكثر النتائج التزاما من الناحية الطبية قد تمثل في كون تنبيه منطقة من الجهاز الحوفي تدعى **الحاجز** septum قد

(*) Taming a Fighting Bull

تظهر الصورة ثورا يحمل في دماغه «ستيموسيڤر» (*في الأسفل*) وهو يهاجم ‹دلگادو› في حلبة مصارعة الثيران في أسبانيا في عام 1963 (*الصورتان اللتان في الوسط*)، ثم توقف الثور واستدار استجابة لإشارة راديو أصدرها ‹دلگادو› (*أقصى اليسار*). وقد جادل النقاد بأن التنبيه لم يقمع الغريزة العدوانية للثور حسبما أوحى ‹دلگادو›، بل أجبره على الاستدارة نحو اليسار. ويعترف ‹دلگادو› الذي كبر في روندا بأسبانيا، التي تعد معقلا لمصارعة الثيران، أنه شعر بالخوف قبل أن تجعل إشارتُه الثورَ يعزف عن النزال.





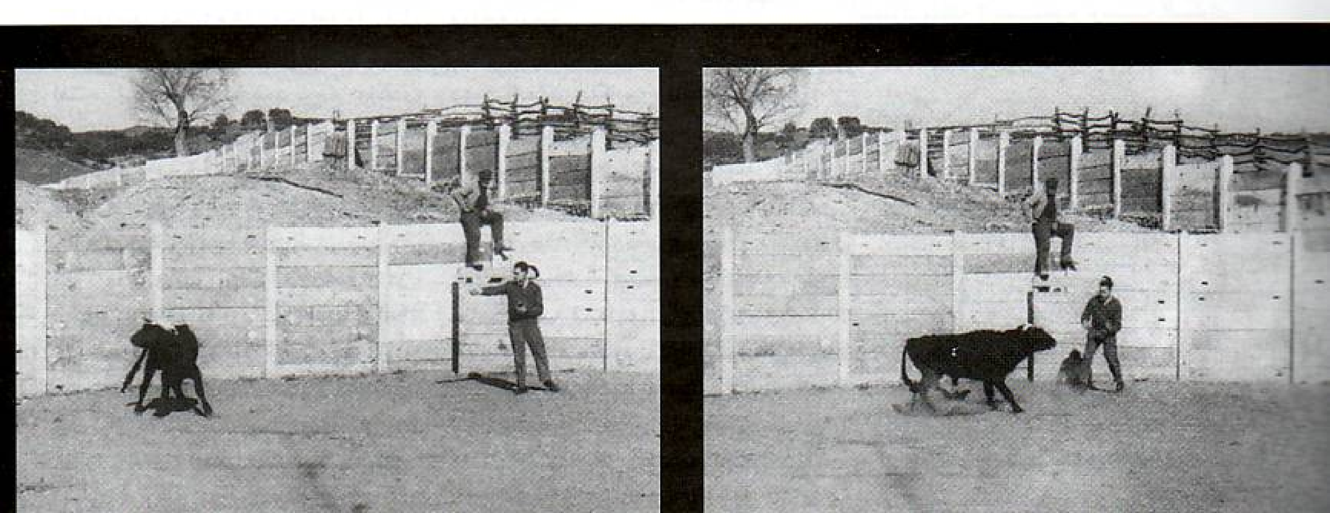


تعلمت أنثى المكاك (*أقصى يسار الصورة الأولى*) أنها عبر سحب رافعة في القفص، تستطيع النجاة من مواجهة أحد الذكور، إذ كانت الرافعة ترسل إشارة إلى ستيموسيفر مغروس في دماغه مسببة تهدئته. وفي *أقصى يمين الصورة اليمنى* يظهر الذكر هادئا، في حين أصبح عدائيا في اللقطة الأخرى. ونشير إلى أن «دلكادو» أجرى عدة أبحاث كهذه في أوائل الستينات من القرن العشرين حول تأثيرات التنبيه الدماغي في التأثرات الاجتماعية.

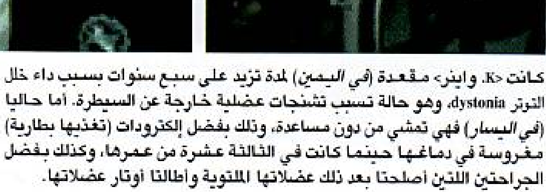
تسبب في بعث حالة انشراح قوية كانت كافية في بعض الحالات لمجابهة الاكتئاب وحتى الألم البطني. بيد أن «دلكادو» حد من تجاربه على البشر، لأن الفوائد العلاجية **للغريسات** implants كانت غير موثوقة، إذ اختلفت النتائج بشكل واسع من مريض إلى آخر، وقد لا تكون قابلة للتنبؤ بها حتى لدى المريض نفسه. وفي الحقيقة، يستذكر «دلكادو» صده لعدد من المرضى يفوق العدد الذي قبل معالجته، بما في ذلك امرأة شابة كانت مشوشة جنسيا ونزاعة للعنف، بحيث دخلت السجون والمصحات العقلية مرارا. ومع أن تلك المرأة ووالديها توسلوا إليه أن يغرس إلكترودات في دماغها فقد رفض شاعرا أن التنبيه الكهربائي كان أكثر بدائية من أن يصلح لحالة لا تتضمن مرضا عصبيا موضوعيا.

لقد أجرى «دلكادو» أبحاثا مستفيضة على النسانيس وحيوانات أخرى، وكان غالبا ما يركز على المناطق العصبية التي تثير العدوان أو تثبطه. وفي أحد تبياناته التي كانت تستكشف مفاعيل التنبيه على **التراتبية الاجتماعية** social hierarchy عمد إلى غرس ستيموسيفر في نسناس متزعم؛ ثم ركّب رافعة في القفص، بحيث تُهدئ ذلك الزعيم كلما ضُغطت، وذلك عبر قيام الستيموسيفر بتنبيه **النواة المُذنّبة** coudate nucleus عند ذلك النسناس. ونشير هنا إلى أن النواة المذنّبة هي منطقة دماغية تضطلع بالتحكم في الحركات الإرادية. وسرعان ما اكتشفت إحدى الإناث في القفص قوة تلك الرافعة فغدت تضغطها كلما هددها ذلك الذكر. وقد كتب «دلكادو» الذي لم يكن يخجل قط من إدلائه بتأويلات تشبيهية قائلا: «إن الحلم القديم بشخص يفوق جبروته طاغية ما، وذلك بالتحكم من بعد، قد تحقق على الأقل في مستعمراتنا النسناسية.»

أما أشهر تجربة أجراها «دلكادو» فقد كانت في مزرعة لتربية الثيران بمدينة قرطبة في إسبانيا خلال عام 1963. فبعد إدخاله ستيموسيفرات في أدمغة بضعة ثيران، وقف في الحلبة مع أحد هذه الثيران جنبا إلى جنب، وبكبس أزرار جهاز إرسال في يده، تحكم في كل فعل من أفعال هذا الثور. وفي أحد الأمثلة التي تم التقاط صورة لها، أجبر «دلكادو» ثورا مهاجما على التوقف على بعد أمتار قليلة منه، وذلك عن طريق تنبيهه النواة المذنبة للثور. ويذكر أن مجلة نيويورك تايمز نشرت مقالة افتتاحية عن ذلك الحدث واصفة إياه بأنه «البيان الأكثر إثارة حول التحوير







كانت <K. واينر> مقعدة (*في اليمين*) لمدة تزيد على سبع سنوات بسبب داء خلل التوتر dystonia، وهو حالة تسبب تشنجات عضلية خارجة عن السيطرة. أما حاليا (*في اليسار*) فهي تمشي من دون مساعدة، وذلك بفضل إلكترودات (تغذيها بطارية) مغروسة في دماغها حينما كانت في الثالثة عشرة من عمرها، وكذلك بفضل الجراحتين اللتين أصلحتا بعد ذلك عضلاتها الملتوية وأطالتا أوتار عضلاتها.

الغرائس الدماغية في الوقت الحاضر(*)

قبل نحو نصف قرن، حين بدأ <خوزيه دلگادو> وقلة من العلماء الشجعان باستكشاف تأثير اغتراس إلكترودات في الدماغ، لم يستطيعوا تصور كم عدد الناس الذين سيستفيدون ذات يوم من هذا النهج من الأبحاث. إن أنجح شكل من الغرائس (أو **البدلة العصبية** neural prosthesis) إلى حد بعيد هو **القوقعة الصنعية** artifiail cochlea، إذ إن أكثر من سبعين ألف إنسان تجهز بهذه الأدوات التي تساعد على استعادة قدرة أولية على السمع، وذلك عن طريق إرسال إشارات من ميكروفون خارجي موجهة إلى العصب السمعي. ولقد تم اغتراس أجهزة تنبيه دماغية في أكثر من ثلاثين ألف إنسان يشكون من مرض پاركنسون واضطرابات حركية أخرى (بما في ذلك المريضة <K. واينر> البالغة من العمر 17 عاما والتي تظهر *في اليسار*). وهناك ما يقرب من هذا العدد من المصابين بالصرع تتم معالجتهم بأدوات تُنبه **العصب المبهم** vagus في الرقبة.

هذا ويتقدم العمل على **بدلات** prosthesbs أخرى ببطء. وهناك تجارب سريرية تشق طريقها اليوم لاختبار تنبيه الدماغ والعصب المبهم لغرض معالجة أمراض عدة، مثل الاكتئاب وداء الوسواس القسري ونوبات الفزع والألم المزمن. كما جرى اختبار شيپات شبكيات حساسة للضوء صنعية تحاكي مقدرة العين على معالجة الإشارة وتنبيه العصب البصري أو القشرة المخية الإبصارية، وذلك على مجموعة صغيرة من الذين لا يستطيعون عادة رؤية ما هو أكثر من بقع لامعة[1].

وثمة مجموعات بحث حالية أظهرت أن النسانيس تستطيع التحكم في حواسيب وأذرع إنسالية (روبوتية)، عبر إلكترودات مغترسة تلتقط إشارات عصبية. ونشير هنا إلى أن احتمال إعطاء تقوية للمشلولين هو احتمال واضح، بيد أنه حتى الآن لم تجر إلا تجارب قليلة محدودة النجاح على البشر. أما الشيپات التي يمكن أن تعيد الذاكرة للمصابين بمرض الزايمر واضطرابات أخرى، فلاتزال بحاجة إلى سنة أو سنتين لاختبارها على الجرذان.

إن السوق المحتمل للبدلات العصبية هائل. فنحو عشرة ملايين أمريكي يصارعون اكتئابا رنيسيا، وأربعة ملايين ونصف مليون أمريكي يقاسون فقد الذاكرة بسبب مرض الزايمر، وأكثر من مليوني أمريكي أصيبوا بالشلل بسبب أذيات في النخاع الشوكي **وبالتصلب الوحشي الضموري العضلي** amyotrophic lateral sclerosis وبالسكتات الدماغية، وأكثر من مليون أمريكي هم في عداد العميان حكما.

المتعمد في سلوك الحيوان عبر التحكم في الدماغ من الخارج». وهناك مقالات أخرى هللت بما قام به <دلگادو> من تحويل وحش شرس إلى ترجمة حقيقية الحدوث لرواية <فرديناند الثور>[2] ذلك البطل الوديع لإحدى قصص الأطفال الشائعة.

ومن حيث الأهمية العلمية، يعتقد <دلگادو> أن تجربته التي أجراها على أنثى شمپانزي (سُميَت **پادي**) إنما تستحق اهتماما أكبر. فقد برمج <دلگادو> الستيموسيڤر الخاص بـ **پادي** لاكتشاف إشارات مميزة (تدعى **مغازل** spindles) تصدرها **اللوزة المخية** amygdala تلقائيا. ففي كل مرة يكتشف فيها الستيموسيڤر مغزلا ما فإنه ينبه المنطقة السنجابية المركزية لدماغ **پادي** مولدا «رد فعل اشمئزازيا»، على شكل إحساس مؤلم أو مستهجن. وبعد ساعتين من هذه التغذية السلبية الراجعة[3]، ولدت اللوزة المخية عددا من المغازل أقل عددا بنسبة 50 في المئة، وهبط تواترها بمقدار 99 في المئة في غضون ستة أيام. وقد كتب <دلگادو> أن «**پادي** أصبحت أكثر هدوءا وأقل اكتراثا واندفاعا خلال اختبار السلوك.» ولكنه مع ذلك استشرف أن هذا «التعلم التلقائي» يمكن أن يستخدم كتقنية لإخماد نوبات الصرع وسطوات الفزع وغيرها من الاعتلالات التي تتميز بإشارات دماغية نوعية.

لم تكن الوكالات المدنية هي الوحيدة التي دعمت أبحاث <دلگادو>، بل كذلك العسكرية، مثل مكتب أبحاث الأسطول (ولكن يصر <دلگادو> أنه لم يلق دعما البتة من وكالة الاستخبارات المركزية (CIA) حسبما اتهمته بعض جهات الدسائس). ويقول <دلگادو> الذي يصف نفسه معارضا للعنف، بأن مناصريه في البنتاكون رأوا في عمله بحثا أساسيا ولم يسوقوه إطلاقا باتجاه التطبيق العسكري. لقد كان ينبذ على الدوام فكرة كون الغرائس تستطيع تشكيل جنود خوارق يقتلون عند الطلب، على غرار السفّاح المغسول الدماغ في الفيلم *The Manchurian Candidate* (حيث كانت تتحكم في السفاح طرائق نفسانية في النسخة الأصلية للفيلم الذي عرض عام 1962، ثم **شيپة دماغية** brain chip في التجديد المُحدث لهذا الفيلم في عام 2004). ويؤكد <دلگادو> أن التنبيه الدماغي يمكن أن «يزيد أو ينقص من السلوك ولكنه لا يستطيع توجيه السلوك العدواني نحو أي هدف نوعي محدد.»

تصوُّر «مجتمعٍ متحضر نفسيا»(**)

في عام 1969 وصف <دلگادو> أبحاث التنبيه الدماغي وناقش تضميناته في مقالته ***التحكم البدني في العقل: نحو مجتمع متحضر نفسيا*** *Physical Control of the Mind: Toward a Psychocivilized society*،

(*) Brain Implants Today
(**) Envisioning a "Psychocivilized Society"
(1) phosphenes
(2) ferdinand the bull
(3) أو التلقيم السلبي المرتد negative feedback

وهي مقالة موضحة بصور لنسانيس وقطط وثور وصبيتين مريضتين أخفتا الستيموسيڤرات تحت غطاءي رأسيهما (وهنا عقب ‹دلگادو› بأن المريضتين أبدتا طبعهما الأنثوي لذلك الظرف من خلال لبسهما قبعات جذابة أو شعر مستعار لإخفاء العمرة[1] الكهربائية على رأسيهما). وبشرحه تقييدات التنبيه الدماغي، يقلل ‹دلگادو› «الاحتمالات المضادة للعدالة الاجتماعية» التي يستعبد من خلالها علماء فاسدون بعض الناس عن طريق غرس الإلكترودات في أدمغتهم.

ومع ذلك فإن بعضا من نصوصه اتصفت بنغمة بروتستانتية تحذيرية. فقد أعلن أن التقانة العصبية على شفا «قهر الدماغ» وخلق «إنسان أفضل وأسعد وأقل قسوة». وفي مراجعة ظهرت في مجلة ***سيانتفيك أمريكان*** اعتبر الفيزيائي الراحل ‹F. مورسون› **التحكم البدني** physical control رصيدا جديدا عميق التفكير لتجارب التنبيه الكهربائي، ولكنه أضاف بأن تضميناته «مشؤومة على نحو ما.»

وفي عام 1970 حاقت بمنحى ‹دلگادو› فضيحة أطلقها ‹F. إيرڤن› و ‹R. مارك› [وهما باحثان في كلية طب هارڤارد]. كان ‹دلگادو› قد تعاون معهما فترة وجيزة. (ويشار إلى أن أحد تلامذة ‹إيرڤن›، واسمه ‹M. كريشتون›، ألّف كتاب *The Terminal Man* الذي يعتبر الأكثر رواجا حول تجربة حيوية إلكترونية استُلهمت من بحث لكل من ‹إيرڤن› و‹مارك› و‹دلگادو›، ثم انحرفت وزاغت). ففي كتابهما بعنوان ***العنف والدماغ*** *Violence and the Brain* أوحى ‹إيرڤن› و‹مارك› أن تنبيه الدماغ أو الجراحة النفسية يمكن أن يقمع النزوع للعنف لدى السود المشاغبين. وفي عام 1972 أثار ‹هيث› (وهو طبيب نفسي في طولان) مزيدا من التساؤلات حول أبحاث الاغتراس الدماغي حين ذكر أنه حاول تغيير المنحى الجنسي لذكر **مثلي الجنس** homosexual عن طريق تنبيه **المنطقة الحاجزية** septal region أثناء ممارسته الجماع مع إحدى بنات الهوى.

أما أعنف مناوئ للغرائس الدماغية فقد كان الطبيب النفسي ‹P. بريجين› الذي ركز اهتمامه في العقود الحالية على أخطار العقاقير الطبية النفسية. ففي شهادة موزعة في محفوظات الكونگرس لعام 1972 اتهم



صورة لـ‹دلگادو› حاملا اثنتين من غرائسه الدماغية، وقد التقطت في الشهر 2005/8. لقد كتب ذات يوم أن البشرية يجب أن تحول رسالتها من مقولة «اعرف نفسك» إلى مقولة «كوِّن نفسك».

‹بريجين› كلا من ‹دلگادو› و‹إيرڤن› و‹مارك› و‹هيث› مجتمعين، إضافة إلى مناصري عمليات بضع الفصوص المخية، بمحاولة خلق «مجتمع سيبضع فيه كل شخص يزوغ عن السنن المعتمدة.» وفي اقتباس مع التصرف من كتاب ***التحكم البدني*** *physical control* اختص ‹بريجين› من تلك المجموعة ‹دلگادو› واصفا إياه بأنه «المدافع الرئيسي عن الاستبدادية التقانية.» وفي عام 1973 تقدم ‹E. ڤالنشتاين› [وهو فيزيولوجي أعصاب من جامعة ميتشگان في آن أربر] في كتابه ***التحكم الدماغي*** *Brain Control* بنقد علمي مفصل لأبحاث الاغتراس الدماغي التي يجريها ‹دلگادو› وآخرون، زاعما أن نتائج التنبيه كانت أقل دقة وأقل فائدة علاجية مما اعتاد أنصار تلك الأبحاث الإيحاء به (لقد ذكر ‹دلگادو› أنه في كتاباته الخاصة أشار إلى العديد من النقاط التي نوّه إليها ‹ڤالنشتاين›).

وفي هذه الأثناء بدأ بعض الناس يتهمون ‹دلگادو› بأنه اغترس سرا ستيموسيڤرات في أدمغتهم. وقد أقامت امرأة زعمت ذلك دعوى على ‹دلگادو› وجامعة ييل طالبت فيها بمبلغ مليون دولار، مع أنه لم يكن قد قابلها قط. وفي وسط هذه المعمعة طلب وزير الصحة الأسباني ‹V. بالاسي› إلى ‹دلگادو› أن يقدم العون في إقامة كلية طب جديدة لدى الجامعة Autonamous Univ في مدريد، فقبل ‹دلگادو› أن ينتقل هو وزوجه وطفلاه إلى أسبانيا في عام 1974. ويصر ‹دلگادو› على أنه لم يهرب من المهاترات التي أحاطت بأبحاثه، وإنما كان عرض الوزير أجود من أن يرفض، وقال: «لقد سألت: هل يمكنني أن أحظى بالتسهيلات التي حظيت بها في ييل؟ فأجابوني: لا، بل أفضل بكثير!».

وفي أسبانيا، حول ‹دلگادو› اهتمامه نحو الطرائق **غير الباضعة** noninvasie المؤثرة في الدماغ والتي أمل أن تكون أكثر قبولا من الناحية الطبية مقارنة بالغرائس. وفي تطلعه إلى تقنيات جديدة، مثل التنبيه المغنطيسي **عبر القحف** transcranial، ابتكر أداة تشبه الهالة وخوذة تستطيع إيصال نبضات كهرمغنطيسية إلى مناطق عصبية نوعية. ولدى اختبار هذه الأدوات الرهيفة على متطوعين من الحيوانات والبشر كليهما (بما في ذلك ‹دلگادو› نفسه وابنته ‹ليندا›)، اكتشف ‹دلگادو› أنه يستطيع أن يبعث النعاس واليقظة وحالات أخرى فيهم. كما نجح في معالجة الارتعاشات لدى مرضى داء پاركنسون.

ومازال ‹دلگادو› غير قادر تماما على تفادي الجدل حول أبحاثه. ففي أواسط الثمانينات من القرن العشرين استشهدت مقالة في مجلة *Omni* وبعض البرامج الوثائقية للمحطتين الإخباريتين BBC و CNN بأعمال ‹دلگادو› كأدلة ظرفية على كون الولايات المتحدة والاتحاد السوڤييتي سابقا قد طورا بشكل سري طرائق للتحكم عن بعد في أفكار الناس. وبملاحظته أن قدرة النبضات الكهرمغنطيسية ودقتها تنخفضان بسرعة كلما زادت المسافة، ينفي ‹دلگادو› مزاعم التحكم العقلي هذه معتبرا إياها من

(1) headgear

التتمة في الصفحة 43



دماغ الأم(*)

إن الحمل والأمومة يغيران بنية دماغ أنثى الثدييات، مما يجعل الأمهات أكثر اهتماما بصغارهن وأحسن رعاية لهم.

<H. C> كنسلي> ـ <G. K> لامبرت>

إن الأمهات يُصنعن ولا يولدن أمهات. وفي واقع الأمر، فإن إناث الثدييات كافة، بدءا من الجرذان والنسانيس إلى البشر، يعانين تغيرات وظيفية سلوكية في أثناء الحمل والأمومة. فالأنثى التي كانت ذات يوم كائنا موجهًا إلى ذاته بقدر كبير ومكرسًا نفسه لاحتياجاته وبقائه survival، تصبح كائنا محور اهتمامه رعاية أولاده ورفاههم. ومع أن العلماء لاحظوا هذا التحول منذ زمن طويل ودهشوا له، فإنهم لم يبدؤوا إلا قريبا بفهم مسبباته. فقد أظهرت الأبحاث الجديدة أن التموّجات الهرمونية المثيرة التي تحدث أثناء الحمل والولادة والإرضاع يمكن أن تعيد نمذجة دماغ الأنثى، بحيث تزيد حجم العصبونات في بعض مناطقه وتحدث تغيرات بنيوية في مناطق أخرى منه.

إن بعض هذه المناطق يضطلع بتنظيم سلوكيات أمومية maternal، من مثل بناء الأوكار والعناية بالصغار وحمايتهم من الضواري؛ في حين تضطلع مناطق أخرى بضبط الذاكرة والتعلم والاستجابات تجاه الخوف والكرب. وقد أظهرت تجارب حديثة أن الجرذات الأمهات يَفُقْن الجرذات العذارى في اجتياز المتاهات واصطياد الفرائس. كما يمكن أن تفضي التغيرات الدماغية التي تسببها الهرمونات، إضافة إلى حثّها الإناث على رعاية نسلها، إلى تحسين قدرة الجرذة الأم على جمع العلف والغذاء، الأمر الذي يمنح جِراءها her pups فرصة أفضل للبقاء أحياء. وأكثر من هذا، يبدو أن الفوائد المعرفية المكتسبة تصير أكثر ديمومة عند الجرذة الأم، إذ تبقى هذه الفوائد حتى تصل الجرذة الأم مرحلة متقدمة من العمر.

ومع أن دراسات هذه الظاهرة قد ركزت حتى الآن على القوارض، فمن المحتمل أن إناث البشر يجنين كذلك فوائد عقلية طويلة الأمد من الأمومة. فمعظم الثدييات يتشارك سلوكيات أمومية متشابهة، ربما تتحكم فيها مناطق دماغية متماثلة لدى البشر والجرذان سواء بسواء. وفي الحقيقة، اقترح بعض الباحثين أن يكون تنامي السلوك الأمومي قد شكل واحدا من المحركات والدوافع الرئيسية لتطور دماغ الثدييات. ففي زمن نشوء الثدييات من أسلافها الزواحف تحولت استراتيجية تناسلها من ظاهرة «اقذف البيوض واهرب»(1) إلى ظاهرة «دافع عن الوكر»(2). ويمكن أن تكون الفوائد الانتقائية لهذه المقاربة الأخيرة قد رجّحت ظهور تغيرات دماغية هرمونية وما نجم عنها من سلوكيات مفيدة. وفي الواقع باتت اليد التي تهز مهد الصغير هي التي تحكم العالم.

نظرة إجمالية/ فطنة الأم(**)

- أظهرت الدراسات على القوارض أن هرمونات الحمل تستهل تغيرات لا تقتصر على مناطق دماغية تحكم السلوك الأمومي، بل تتناول أيضا الباحات التي تنظم الذاكرة والتعلم.
- يمكن أن تفسر هذه التغيرات الدماغية سبب كون الجرذات الأمهات أحسن من العذارى في اختيار المتاهات والقبض على الفريسة.
- يدرس الباحثون حاليا ما إذا كانت إناث البشر تكتسب هي أيضا ما تقدمه الأمومة من مزايا عقلية.

فيض من الهرمونات(***)

قبل قرن من الزمن، وجد العلماء التلميحات الأولى إلى أن هرمونات الحمل هي التي تستنهض حرص أنثى الثدييات على نسلها. وفي أربعينات القرن الماضي، بيَّن <A. F> بيش> [من جامعة ييل] أن الإستروجين والپروجستيرون (وهما الهرمونان التناسليان الأنثويان) ينظمان استجابات مثل العدوانية والنواحي الجنسية عند الجرذان والهامسترات والقطط والكلاب؛ وكذلك أوضح بحث رائد أجراه <S. D> ليرمان> و<S. J> روزنبلات> [اللذان كانا حينها في معهد السلوك الحيواني بجامعة روتگرز في الولايات المتحدة] أن هذين الهرمونين نفسيهما ضروريان لإظهار السلوك الأمومي عند الجرذات. وفي عام 1984 ذكر <S. R> بريجيس> [الموجود حاليا في كلية تافتس كومنكس للطب البيطري] أن إنتاج الإستروجين والپروجستيرون يزداد في مراحل معينة أثناء الحمل، وأن ظهور السلوك الأمومي يعتمد على تفاعل هذين الهرمونين وتناقصهما اللاحق. وكذلك توصل <بريجس> وزملاؤه إلى إظهار أن الپرولاكتين (وهو الهرمون المحرِّض على إدرار الحليب) ينبه السلوك الأمومي عند إناث الجرذان التي سبق أن أشبعت

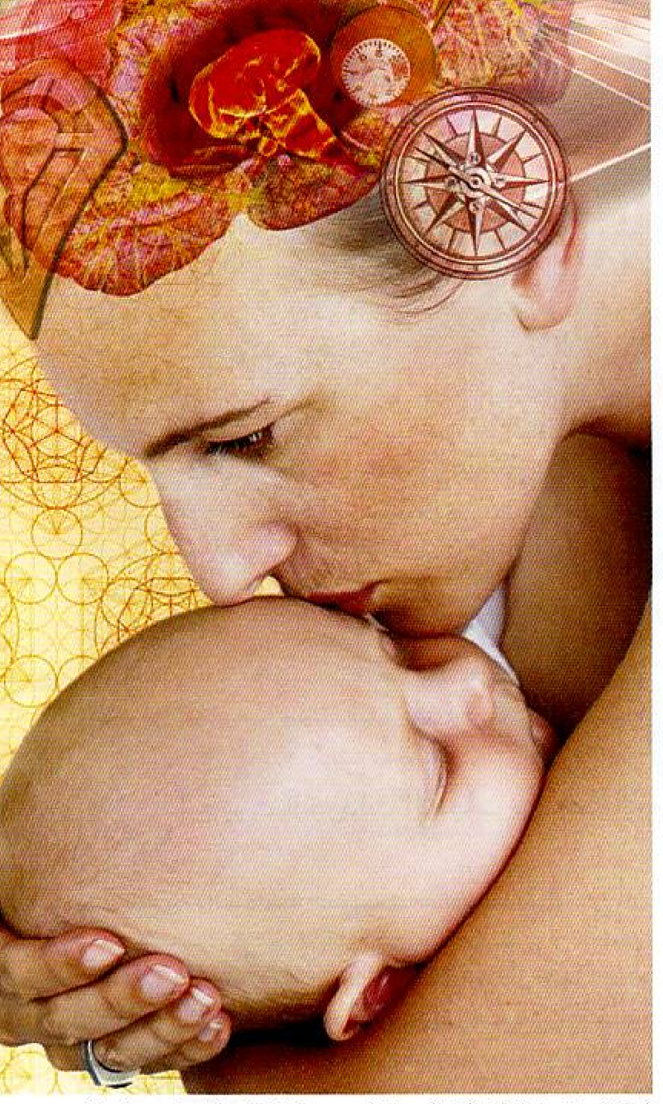
(*) THE MATERNAL BRAIN
(**) Overview / Molhger Wit
(***) Awash in Hormones
(1) drop-the-eggs-and-flee
(2) defend the nest

بالبروجستيرون والإستروجين.

وإلى جانب الهرمونات، يبدو أن الكيماويات الأخرى التي تؤثر في الجهاز العصبي تؤدي دورا في إطلاق الدوافع الأمومية. ففي عام 1980، ذكر <R .A. كنتسلر> [من مركز داونستيت الطبي التابع لجامعة ولاية نيويورك] وجود زيادات في الإندورفينات (وهي بروتينات مانعة للألم تولِّدها الغدة النخامية ومنطقة في الدماغ تدعى **الوطاء** hypothalamus) طوال مدة الحمل، ولا سيما قبيل الولادة. فإضافة إلى كونها تُعِد الأم لتحمل مشقة الولادة، فإن الإندورفينات يمكن أن تُحضّر لاستهلال السلوك الأمومي. وإذا ما أخذ جميع ذلك بالحسبان، فإن البيانات توضح أن تنظيم هذا السلوك يتطلب تنسيق عدة منظومات هرمونية وكيميائية عصبية، وأن دماغ الأنثى يكون رائع الاستجابة للتغيرات التي تصاحب الحمل.

هذا وقد حدد العلماء كذلك المناطق الدماغية التي تحكم السلوك الأمومي. فقد بين <ميشيل نيومان> و<مارلين نيومان> [من بوسطن كوليج] أن جزءا من الوطاء في دماغ الأنثى، يدعى **الباحة قبل البصرية الوسطى (الأنسية)** medial preoptic area (mPOA)، يكون مسؤولا إلى حد كبير عن هذا النشاط؛ إذ إن إحداث أذية في هذه الباحة، أو حقن المورفين فيها، يفسد السلوك المميز للجرذات الأمهات. ولكن ثمة باحات دماغية أخرى غير هذه الباحة تنخرط في ذلك أيضا (*انظر الإطار في الصفحة 21*)، ويكون كل موضع من هذه المواضع حافلا بمستقبلات الهرمونات والكيماويات العصبية الأخرى. وقد اقترح عالم الأعصاب الشهير <P. مكلين> [من المعهد الوطني للصحة العقلية] أن **المسارات العصبية** neural pathways من الوطاء (وهو محطة الترحيل في الدماغ) إلى **القشرة الحزامية** cingulate cortex (التي تنظم الانفعالات)، تمثل جزءا مهما من منظومة السلوك الأمومي؛ إذ إن إتلاف القشرة الحزامية هذه في جرذات أمهات يزيل السلوك الأمومي عندها. وفي كتابه لعام 1990 بعنوان: *The Triune Brain in Evolution* افترض <مكلين> أن تَشكُّل هذه المسارات وتناميها قد ساعد على صياغة دماغ الثدييات أثناء تطوره انطلاقا من دماغ الزواحف البسيط.

ومن اللافت للنظر، أنه ما إن تستهل الهرمونات التناسلية استجابة الأمومة، حتى يظهر أن اعتماد الدماغ على تلك الهرمونات يتضاءل وأن **النسل** offspring وحده يتمكن من تنبيه السلوك الأمومي. ولما كان الحيوان الثديي المولود حديثا يعد مخلوقا صغيرا ذا متطلبات غير مريحة في مستويات عديدة (مثل الرائحة الكريهة وقلة الحيلة والنوم المتقطع)، فإن تكريس الأم نفسها له يعد الأكثر إلحاحا بين جميع السلوكيات الحيوانية، حتى إنه يفوق السلوك الجنسي وسلوك الإطعام. وقد اقترحت <J. موريل> [من جامعة روتكرز] أن النسل نفسه قد يكون **الإثابة** reward التي تعزز السلوك الأمومي. ويشار إلى أن الجرذات الأمهات، حينما منحت فرصة الخيار ما بين الكوكائين والجراء المولودة حديثا، مالت إلى انتقاء جرائها.



ثمة تغيرات سلوكية ترافق الأمومة عند جميع إناث الثدييات. وتوحي أبحاث جديدة بأن التغيرات التي تحدثها الهرمونات في دماغ الأنثى يمكن أن تجعل الأمهات أكثر يقظة وأحسن إيلاء للرعاية وأفضل تألفا تجاه صغارهن؛ وكذلك تحسن هذه التغيرات ذاكرتهن المكانية ومقدرتهن على التعلم.

وحديثا درس <C. فيريس> [من كلية طب جامعة ماساتشوستس] أدمغة الجرذات الأمهات المرضعات باستخدام التصوير الرنيني المغنطيسي الوظيفي (fMRI) الذي يعد تقنية **غير باضعة** noninvasive ترصد التغيرات في النشاط الدماغي، فوجد أن النشاط في **النواة المُتَّكئة** nucleus accumbens عند الأم، وهي موضع متمم للتعزيز والإثابة، يزداد بشكل ملحوظ حين ترضع جراءها؛ وأما <R. كاندلمان> [من جامعة روتكرز] فقد أوضح أن الفأرة الأم حين تتاح لها فرصة استقبال **جراء رضيعة** foster pups (وذلك بأن تضغط هذه الفأرة على قضيب في قفصها، بحيث يفسح المجال لانزلاق الجراء على منحدر)، فإنها تبقى ضاغطة على القضيب إلى أن يمتلئ قفصها بتلك الأجسام

الوردية اللون المتدحرجة.

لقد افترض بضعة باحثين أن الجراء، وهي ترضع من الأم، تلتصق بحلمات أثدائها، ومن الممكن أن تطلق كميات ضئيلة من الإندورفينات في جسم الأم. وقد تعمل هذه الإندورفينات المانعة للألم مثل عقار أفيوني يستجر الأم مجددا للاتصال بجرائها والالتصاق بها. زد على ذلك أن الإرضاع واتصال الجراء بالأم والتماسّ بها تؤدي إلى إطلاق هرمون الأكسيتوسين الذي يكون له المفعول نفسه لدى الأم. ونشير إلى أن الأنواع الثديية الدنيا، مثل الفئران والجرذان التي تفتقر على الأرجح إلى المبادئ والدوافع النبيلة التي يمتلكها البشر، تعتني بجرائها ربما انطلاقا من سبب بسيط وهو أنها تستشعر الارتياح حين تفعل ذلك.

ولكن، ماذا عن **الدوافع** motivations عند الأم البشرية؟ لقد استخدم <J. لوربرباوم> [من جامعة ساوث كارولينا الطبية] التصوير الرنيني (المرْنان) المغنطيسي الوظيفي في فحص أدمغة أمهات بشرية أثناء إصغائهن إلى بكاء أطفالهن؛ فوجد أن نماذج نشاط هذه الأدمغة كانت شبيهة بتلك المشاهدة في أمهات القوارض فيما يخص منطقة الباحة mPOA والقشرتين المخيتين قبل الجبهية و**الحجاجية الجبهية** orbitofrontal. إضافة إلى ذلك، وجد <سمير زكي> و<A. باتلز> [من جامعة لندن] أن الباحات الدماغية التي تنظم الإثابة والمكافأة تتنشط وتتفعّل حينما تحدق الأمهات البشرية في أطفالهن. وتوحي هذه المشابهات بين استجابات البشر واستجابات القوارض بوجود دارة عامة للأمومة في دماغ الثدييات.

إذا خيرت الجرذات الأمهات بين الكوكائين وجراء حديثة الولادة فإنها تختار الجراء.

تغيرات دماغية(*)

لكي نفهم أعمال هذه الدارة، درس الباحثون تغيرات دماغ الأنثى في مراحل تناسلية (إنجابية) مختلفة. ففي سبعينات القرن الماضي، قدمت <C.M. دياموند> [من جامعة كاليفورنيا ببركلي] بعضا من أبكر الأدلة حينما كانت تتحرى القشرات المخية عند جرذات حوامل، مع العلم بأن **الطبقة البرّانية** outermost من الدماغ تؤلف القشرة التي تستقبل المعلومات الحسية وتعالجها؛ وكذلك تتحكم في الحركات الإرادية. فالجرذات التي نشأت وكبرت في بيئات غنية حسيا، أي تحيط بها العجلات والدمى والأنفاق، غالبا ما تمتلك قشرات مخية ذات طيات وتلافيف معقدة تفوق نظيراتها عند الجرذات القابعة في أقفاص خالية من مثل هذه المؤثرات الحسية. ولكن <دياموند> وجدت أن القشرات المخية عند الجرذات الحوامل الموجودة في بيئات فقيرة تماثل في تعقيدها القشرات المخية لدى الجرذات الموجودة في بيئات غنية. وهنا استنتجت <دياموند> أن ثمة توليفة تضم هرمونات وعوامل تخص **الجنين المكتمل** fetus هي التي تقوم على الأرجح بتنبيه أدمغة الجرذات الحوامل.

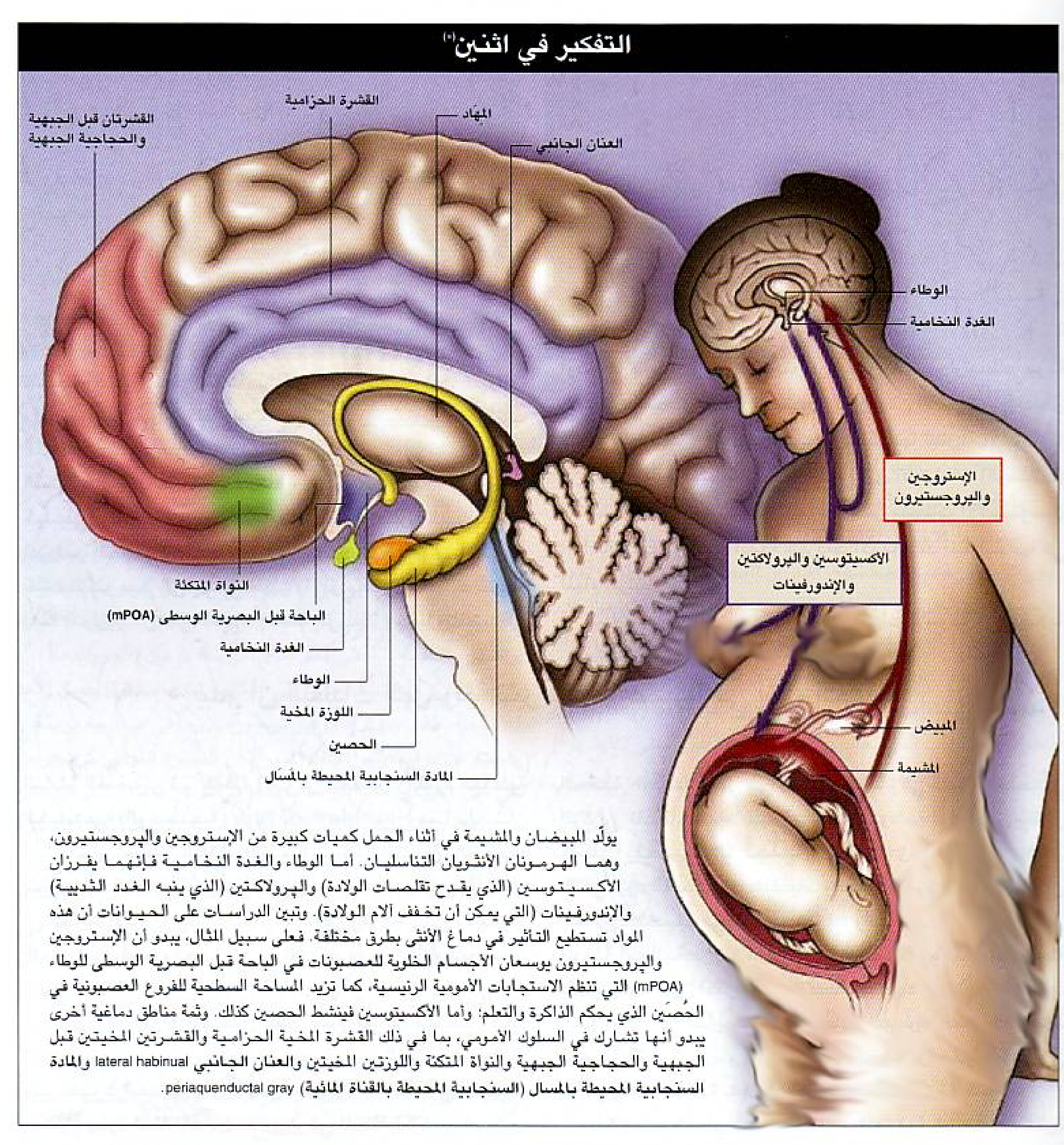
وبعد عقدين من الزمن تليا الدراسات التي أوضحت أهمية الباحة mPOA فيما يخص السلوك الأمومي، بدأ الباحثون بتقصي ما يصيب تلك المنطقة الدماغية من تغيرات. ففي أواسط التسعينات من القرن الماضي، أوضح <J. كيزر> [وهو باحث في أحد مختبراتنا بجامعة ريشموند] أن الأجسام الخلوية للعصبونات في الباحة قبل البصرية الوسطى عند جرذات حوامل تزداد حجما. والأهم من ذلك أن أطوال **التغصنات** dendrites (وهي تمثل التفرعات التي تستقبل الإشارات والتي تمتد من جسم الخلية) وأعدادها في عصبونات الباحة mPOA تزداد مع تقدم الحمل. وقد لوحظت التغيرات ذاتها عند الجرذات الإناث التي عولجت **برجيم** regime محاكٍ لرجيم الحمل يتكون من البروجستيرون والإستراديول، والأخير يعتبر أقوى الإستروجينات الطبيعية. وعادة ما يصاحب هذه التغيرات العصبونية زيادة في تكوين البروتين وفي الفعالية العصبية. ومن حيث الجوهر، تحرض هرمونات الحمل عصبونات الباحة mPOA استباقا للولادة ولمتطلبات الأمومة. وفي هذا تشبه الخلايا العصبية الجياد الأصيلة المتأهبة عند بوابة السباق استعدادا للانطلاق. أما بعد الولادة، فإن عصبونات الباحة mPOA توجه انتباه الأم ودوافعها تجاه نسلها، على نحو يمكّنها من رعايته وحمايته وتغذيته، ومن أداء السلوكيات الجليلة المعروفة في مجموعها بالأمومة.

ولكن السلوك الأمومي يضم نواحي تتعدى الرعاية المباشرة بالنسل، مما حدا بنا إلى الاعتقاد بإمكانية حدوث تغيرات أيضا في مناطق دماغية أخرى. فعلى سبيل المثال، يكون على الجرذة الأم أن تغامر برعاية وكرها وصغارها حين تضطر إلى المجازفة بغية البحث عن الغذاء، مما يجعلها ونسلها العاجز أكثر عرضة للضواري؛ لأنها لو بقيت في الوكر تعرّضت هي وصغارها للموت جوعا ببطء. وإننا نستطيع أن نتنبأ بتغيرَيْن **معرفييْن** cognitive يُحسنان نسبة الفائدة إلى التكلفة عند الجرذة الأم. يتمثل أولهما في ارتقاء مهارات البحث عن الطعام (مثل مقدرتها المكانية على تعرف بيئتها)، مما يخفض إلى الحدود الدنيا مقدار الزمن الذي تغيب فيه الأم بعيدا عن وكرها؛ وأما التغير الآخر فيتمثل في تقليل خوف الجرذة الأم وقلقها، الأمر الذي يسهِّل عليها مغادرة الوكر ويتيح لها جمع الغذاء سريعا ويهيئها لمواجهات مع محيطها العدواني.

وفي عام 1999، عثرنا على دعم للنبوءة الأولى من خلال تبيان

(*) Brain Changes

التفكير في اثنين(*)



يولِّد المبيضان والمشيمة في أثناء الحمل كميات كبيرة من الإستروجين والبروجستيرون، وهما الهرمونان الأنثويان التناسليان. أما الوطاء والغدة النخامية فإنهما يفرزان الأكسيتوسين (الذي يقدح تقلصات الولادة) والبرولاكتين (الذي ينبه الغدد الثديية) والإندورفينات (التي يمكن أن تخفف آلام الولادة). وتبين الدراسات على الحيوانات أن هذه المواد تستطيع التأثير في دماغ الأنثى بطرق مختلفة. فعلى سبيل المثال، يبدو أن الإستروجين والبروجستيرون يوسعان الأجسام الخلوية للعصبونات في الباحة قبل البصرية الوسطى للوطاء (mPOA) التي تنظم الاستجابات الأمومية الرئيسية، كما تزيد المساحة السطحية للفروع العصبونية في الحُصَين الذي يحكم الذاكرة والتعلم؛ وأما الأكسيتوسين فينشط الحصين كذلك. وثمة مناطق دماغية أخرى يبدو أنها تشارك في السلوك الأمومي، بما في ذلك القشرة المخية الحزامية والقشرتين المخيتين قبل الجبهية والحجاجية الجبهية والنواة المتكئة واللوزتين المخيتين والعنان الجانبي lateral habinual والمادة السنجابية المحيطة بالمسال (السنجابية المحيطة بالقناة المائية) periaquenductal gray.

أن الخبرة التناسلية قد حسنت التعلم المكاني والذاكرة المكانية عند الجرذات. فالأمهات الصغيرات اللواتي مرّت بخبرة أو خبرتين تناسليتين صارت أفضل من الجرذات العذارى المضاهيات لها عمرا في تذكر موقع غذاء الإثابة (الطعام المكافأة) داخل نوعين مختلفين من المتاهات (إحداهما متاهة شعاعية ثمانية الأذرع، والأخرى نسخة أرضية لمتاهة موريس المائية، وهي حوض دائري كبير ذو تسعة جُبَّات wells للطعام مغرية). وقد لوحظت مقدرات جمع الغذاء المحسنة عند كل من الإناث الرضيعة والأمهات اللواتي فَطَمت صغارها عن الرضاع قبل أسبوعين على الأقل. وإضافة إلى ذلك، قامت العذارى المزودة بصغار رضيعة بنفس أداء الإناث المرضعة. وتوحي هذه النتيجة بأن وجود النسل وحده يستطيع توفير دعم للذاكرة المكانية، ربما عن طريق تنشيط فعاليات دماغية تغير بُنى عصبونية أو عن طريق استحثاث إفراز هرمون الأكسيتوسين.

ونتساءل، هل تتحسن كذلك ملامح أخرى من مهارات **الاقتناص** hunting لدى الأم؟ هناك بحث جديد أجراه طلبة الجامعة في مختبر كنسلي وأظهر أن الجرذات الأمهات أسرع من العذارى

(*) Thinking For Two

في اقتناص الفرائس. فقد وضعت جرذات أمهات وجرذات عذارى بعد حرمانها حرمانا معتدلا من الطعام كل على حدة في خمسة أحواض (مساحة كل منها خمس أقدام مربعة ومفروشة بنشارة خشب) مخبأ تحتها **جُدْجُد** cricket. وهنا استغرقت العذارى ما متوسطه 270 ثانية تقريبا للعثور على الجدجد والتهامه، وذلك مقارنة بنحو 50 ثانية فقط بالنسبة إلى الإناث المرضعات. وحتى حين جرى تجويع الإناث العذارى أو حين جرى حجب أصوات الجداجد، فإن الجرذات الأمهات بقيت قادرة على الوصول إلى الفرائس على نحو أسرع من الجرذات العذارى.

أما فيما يخص النبوءة الأخرى، فقد وثقت <I. نيومان> [من جامعة ريگنزبورگ في ألمانيا] بشكل متكرر أن الجرذات الحوامل والمرضعة أقل خوفا وقلقا (استنادا إلى قياس مستويات هرمونات الكرب في دمائها) من الجرذات العذارى في مواجهة تحديات مثل القسر على السباحة. كما أكدت <J. وارتيلا> [حين عملت في مختبر كينسلي] هذه النتائج ووسعتها، بفحصها سلوك الجرذات في أحواض الخمس أقدام مربعة. فقد وجدت أن الجرذات الأمهات كانت الأكثر ميلا إلى تقصي المكان والأقل ميلا إلى التوقف خوفا، وهما أمران يدلان على الجرأة. إضافة إلى ذلك، وجدنا تناقصا في أدمغة جرذات في المراحل الأخيرة من الحمل، وكذلك أدمغة إناث عولجت بهرمونات الحمل، فوجدن أن تراكيز أشواك المنطقة CA1 هي أكثر من المعتاد. ولما كانت هذه الأشواك توجه **الدَّخْل** input نحو العصبونات المصاحبة لها، فإن الارتفاع الكبير في الكثافة أثناء الحمل قد يسهم في المقدرة المحسنة عند الأمهات على تجوالها في المتاهات وعلى اقتناصها الفرائس.

ويظهر أيضا أن الأكسيتوسين، وهو الهرمون الذي يسبب تقلصات الولادة وإدرار الحليب، له تأثيراته في الحصين وتحسين الذاكرة والتعلم. وقد ذكر <K. توميزاوا> وزملاؤه [في جامعة أوكاياما باليابان] أن الأكسيتوسين يعزز تأسيس ارتباطات طويلة الأمد بين العصبونات في الحصين؛ إذ إن حقن الأكسيتوسين داخل أدمغة إناث الفئران العذارى قد حسن ذاكراتها الطويلة الأمد، ربما عن طريق زيادة النشاط الإنزيمي الذي يقوي الارتباطات (الوصلات) العصبونية. وعلى العكس من ذلك، فإن حقن **مثبطات الأكسيتوسين** oxytocin inhibiors في أدمغة الجرذات الأمهات قد أضر بأدائها في المهام المرتبطة بالذاكرة.

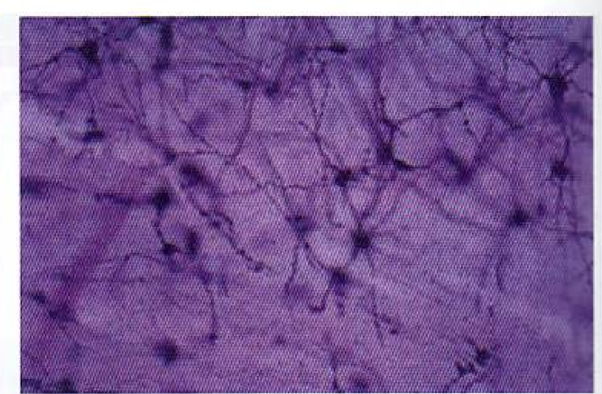
ثمة باحثون آخرون ركزوا على تأثيرات الأمومة في **الخلايا**

يبدو أن التقلبات الهرمونية تثير نشاطا عصبيا في أثناء الحمل.

النشاط العصبوني في المنطقة CA3 من الحصين و**اللوزة القاعدية الجانبية (الوحشية)** basolateral amygdala، وهما باحتان دماغيتان تنظمان الكرب والانفعال. ويؤكد التسكين الحاصل لاستجابات الخوف والكرب، بالاقتران مع تحسينات المقدرة المكانية، أن الجرذة الأم قادرة على التخلي عن أمان وكرها للقيام بالتفتيش الفعال عن الطعام، والعودة إلى مأواها بسرعة من أجل رعاية نسلها المعرض للخطر.

يظهر أن تغيرات الحصين (الذي ينظم الذاكرة والتعلم وكذلك الانفعالات) تؤدي دورا رئيسيا في حصول هذه التبدلات السلوكية. وقد أظهرت أبحاث <C. وولّي> و<B. مكوين> الرائعة [من جامعة روكفلّر] وجود اختلافات بين مد وجزر في المنطقة CA1 من الحصين أثناء دورة شبق (دورة استروس) أنثى الجرذ (وهي التي تعادل الدورة الطمثية عند البشر)، إذ ازدادت كثافة **الأشواك التغصنية** dendritic spines (وهي نتوءات شوكية الشكل تمنح مساحة سطحية أكبر لصالح استقبال الإشارات العصبية) في هذه المنطقة أثناء ارتفاع مستويات الإستروجين لدى الأنثى. فإذا كانت التأرجحات الهرمونية الوجيزة نسبيا في الدورة الشبقية (النزوية) هي التي تولد مثل هذه التغيرات البنيوية اللافتة للنظر، فإننا نتساءل عما يحدث للحصين أثناء الحمل حين تبقى مستويات الإستروجين والبروجسترون مرتفعة لفترة أطول؟ لقد فحصت <G. ستافيسو-ساندوز> و<R. ترينر> و<P. كوادروس> [وهن عاملات في مختبر كنسلي] **الدبقية** glial cells التي هي النسيج الضام في الجهاز العصبي المركزي. فقد قام <G. W. جيفورد> ومساعدوه من الطلبة [في مختبر كنسلي] بفحص **خلايا نجمية** astrocytes، وهي خلايا ذات شكل نجمي تزود العصبونات بالمغذيات والدعم البنيوي. ووجد هؤلاء أن الخلايا النجمية في الباحة mPOA والحصين، عند جرذات في المرحلة النهائية من الحمل وأخرى مرضعة وجرذات معالَجة بالهرمونات، تكون أكثر تعقيدا وعددا منها عند الجرذات العذارى. ويبدو مجددا أن التأرجحات (التموجات) الهرمونية تستحث النشاط العصبي أثناء الحمل، بحيث تحوِّر العصبونات والخلايا الدبقية في مناطق دماغية محددة بقصد تحسين التعلم والذاكرة المكانية.

ولكن هل يمتد أي من هذه الفوائد المعرفية إلى ما بعد فترة الإرضاع؟ لقد ذكرت <J. D. كيتوود> التي عملت مع طلبة آخرين في مختبر كنسلي، أن الجرذات الأمهات حتى السنتين عمرا (وهذا يعادل نسوة من البشر تجاوزن الستين سنة عمرا) تتعلم المهام المكانية بشكل أسرع كثيرا من نظيراتها الجرذات العذارى ذوات العمر نفسه، كما تبدي تناقصات ذاكرية أقل انحدارا. وفي جميع الفئات العمرية التي جرى اختبارها (6، 12، 18، 24 شهرا)، أبدت الأمهات درجة أفضل من العذارى في تذكر أمكنة **الإثابات الغذائية** food rewrds داخل المتاهات. وحينما جرى فحص أدمغة الجرذات الأمهات عند نهاية الاختبار، وجدنا توضعات قليلة من **البروتينات النشوانية** amyloid الطليعية (مع العلم بأن لهذه

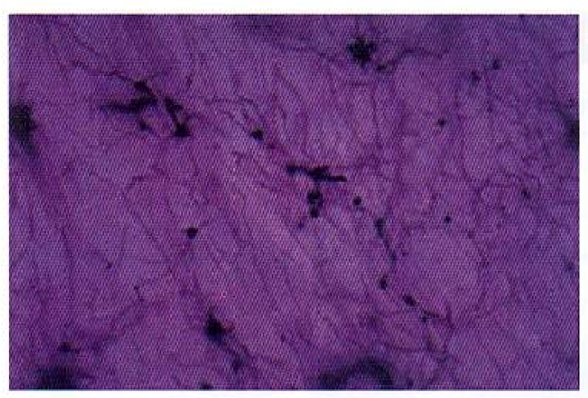


البروتينات دورا في تنكس الجهاز العصبي بفعل التقدم في السن) في قسمين من الحصين وفي المنطقة CA1 و**التلفيف المسنَّن** dentate gyrus للمخ.

وثمة بحث حديث أجراه <G. لوف> و<J. مكنمارا> و<M. موركان> [في مختبرنا الآخر (مختبر لامبرت)] باستخدام سلالات جرذان وفي شروط اختبار مختلفة، أكد أن التعلم المكاني الطويل الأمد يتحسن عند الجرذات الأمهات الأكبر عمرا. وما هو أكثر من ذلك، أن الباحثين قاسوا جرأة الجرذات باستخدام متاهة على شكل إشارة الزائد (+) وذات ذراعين مفتوحتين تتجنبهما الجرذات بسبب ارتفاعهما وانكشافهما، مما لا يوافر مكان اختباء لها. وهنا قضت الجرذات الأمهات التي اختُبِرت (من معظم الأعمار حتى 22 شهرا) وقتا في الذراعين المفتوحتين المثيرتين للخوف في المتاهة يفوق في مقداره الوقت الذي قضته الجرذات العذارى فيهما. وعند فحص أدمغة الجرذات الأمهات، وجد هؤلاء الباحثون عددا قليلا من الخلايا المتنكسة في القشرتين المخيتين **الحزامية** cingulate والجدارية، وهما المنطقتان اللتان تستقبلان دخلاً حسيا كبيرا. وتوحي هذه النتائج أن **الإغراق** inundation المتكرر لدماغ الأنثى بهرمونات الحمل، مع تأثير البيئة الحسية الغنية للوكر، قد يلطفان بعض تأثيرات تقدم السن في الإدراك.

الوشيجة البشرية(*)

هل تجني الإناث البشرية أية مكاسب معرفية مشابهة من الحمل والأمومة؟ تشير دراسات حديثة إلى أن الدماغ البشري يمكن أن يعاني تغيرات في أجهزة التنظيم الحسي توازي التغيرات المشاهدة عند الحيوانات الأخرى. وقد بينت <A. فليمنگ> [من جامعة تورنتو في ميسيساوكا] أن الأمهات البشرية قادرة على تعرف العديد من روائح ولدانهن وأصواتهم، ربما بسبب اكتسابهن مقدرات حسية محسنة؛ إذ وجدت <أليسون> وزملاؤها أن الأمهات اللواتي يمتلكن مستويات عالية بعد الولادة من هرمون الكورتيزول يكنّ أكثر انجذابا وتحفزا بروائح أطفالهن وأحسن قدرة على تعرُّف بكاء ولدانهن. وتشير هذه النتائج إلى أن الكورتيزول الذي يزداد نمطيا عند



تكون أجسام خلايا عصبونات المنطقة قبل البصرية الوسطى (mPOA) لأنثى الجرذ العذراء (*في اليسار*) أصغر حجما بكثير من نظيراتها في المنطقة ذاتها للجرذة الحامل (*في اليمين*). ويبدو أن هرمونات الحمل تستحث عصبونات هذه المنطقة (mPOA) معززة اصطناع بروتينها ونشاطها لتلبية مطالب الأمومة المتوقَّعة.

الكرب (ويمكن أن يكون ذا وقع سلبي على الصحة)، يمكن أن يتصف بتأثير إيجابي في الأمهات الحديثة. وبازدياد مستويات الكورتيزول، فإن كرب **الوالدية** parenting يمكن أن يزيد الانتباه والحذر والحساسية على نحو يقوي الرابطة ما بين الأم ووليدها.

وأشارت دراسات أخرى إلى إمكانية نشوء مفعول طويل الأمد للأمومة. فقد وجد <Th. بيرلس> وزملاؤه [في جامعة بوسطن، كجزء من دراسة نيوإنكلند المئوية] أن النسوة اللواتي كن حوامل في سن الأربعين عمرا أو ما بعدها، يحتمل أن تمتد أعمارهن حتى سن المئة بنسبة مئوية تساوي أربعة أمثال احتمال بقاء النسوة اللواتي أصبحن حوامل في وقت أبكر من أعمارهن. ولعل السبب في ذلك يعود إلى أن وتيرة الشيخوخة تكون أبطأ خطى في النساء اللواتي أصبحن حوامل بشكل طبيعي في الأربعينات من أعمارهن. أما نحن فإننا نضيف إلى ذلك أن الحمل وخبرة الأمومة اللاحقة قد تكون حسنت أدمغة النسوة في فترة حاسمة من شروع التراجع في الهرمونات التناسلية بتحريض من **الإياس** (**سن اليأس**) menopause. وقد تساعد المكاسب المعرفية للأمومة على تلافي نضوب الهرمونات الحافظة للذاكرة، مما يؤدي إلى صحة عصبية أفضل وإلى **تعمير** longevity أطول.

هل يمكن أن تُضعف الأمومة منافسةَ النسوة للآخرين ابتغاء الموارد المحدودة؟ لسوء الحظ لم يُجْرِ العلماء إلا أبحاثا قليلة تخص مقارنة التعلم أو الذاكرة المكانية بين الأمهات و**اللاأمهات** nonmothers البشرية. وقد أظهرت دراسة قام بها <J. كالين بوكوالتر> [من جامعة سوذرن كاليفورنيا] في عام 1999 أن النسوة الحوامل كانت نتائجهن في بضعة اختبارات للذاكرة اللفظية دون المستوى الطبيعي، ولكن سرعان ما ارتدّت درجاتهن إلى المستوى الطبيعي بعد المخاض. ولكن هذه الدراسة كانت ضيقة النطاق (اقتصرت على 19 فردا) ولم تجد تغيرات ذات

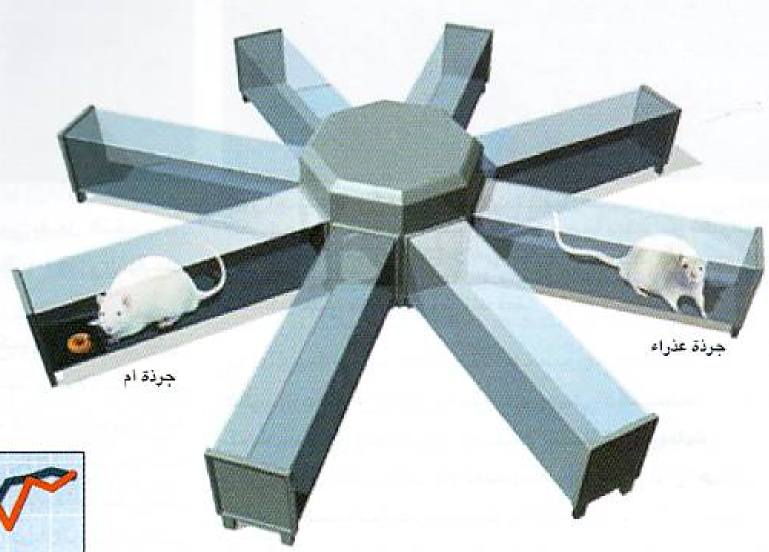
(*) The Human Connection

تعرف الأم ما هو أفضل(*)

تشير التجارب الحديثة إلى أن الخبرة التناسلية تحسن التعلم المكاني (الحيزي) spatial والذاكرة عند الجرذان في الوقت الذي تقلل من الخوف والكرب. ويمكن أن تحسِّن تغيرات السلوك هذه مقدرات الجرذة الأم على جني الطعام، الأمر الذي يمنح جراءها فرصة أفضل للبُقْيا (للبقاء على قيد الحياة).

متاهة شعاعية ذات ثماني أذرع

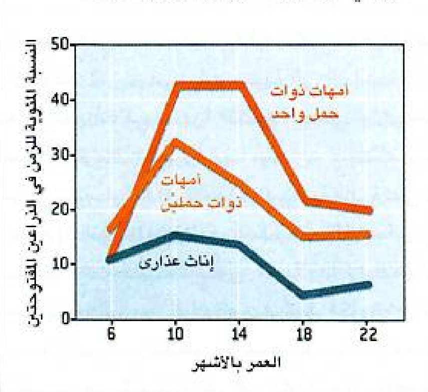
في البداية، قام الباحثون بمؤالفة الجرذان مع المتاهة الشعاعية التي وضعت طعوم الغذاء، بادئ ذي بدء في جميع أذرعها الثماني، ثم في أربع أذرع، ثم في ذراعين، وأخيرا في ذراع واحدة. وبعدئذ قاس هؤلاء الباحثون درجة تذكر تلك الجرذان الذراع التي استبقي الطعم فيها، فوجدوا أن الجرذات الأمهات التي سبق لها أن حملت مرة أو مرتين كانت الأنجح في استكشاف المتاهة (بمعنى الأسرع في العثور على الطُّعم خلال ثلاث دقائق) منذ اليوم الأول للاختبار؛ في حين لم تحقق الجرذات العذارى تلك الدرجة المضاهية من النجاح إلا في اليوم السابع.

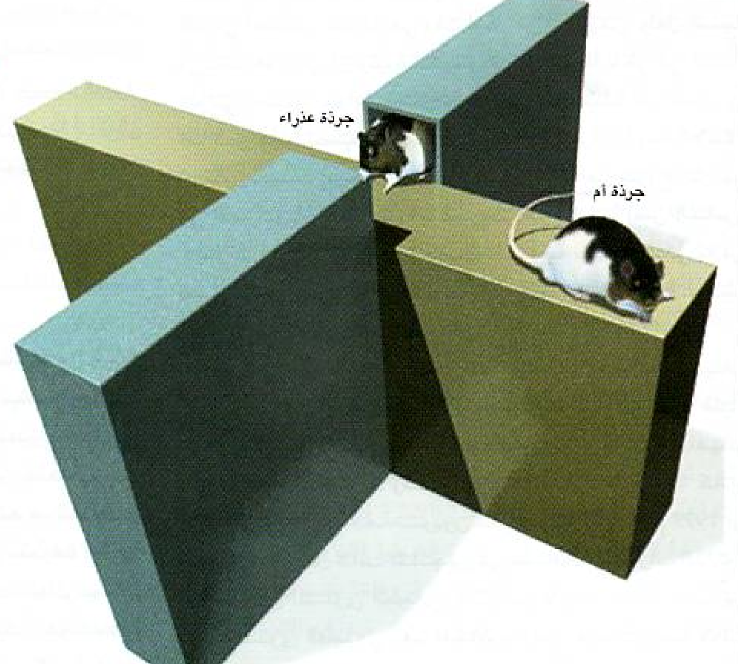


جرذات أمهات
جرذات عذارى
عدد المرات التي أكملت فيها الجرذان المتاهة (من أصل ثماني محاولات)
يوم المحاولة
0 2 4 6 8
1 3 5 7 9 11 13 15

متاهة مرتفعة على شكل إشارة الزائد (+)

في هذه المتاهة التي أعطيت شكل إشارة الزائد وارتفعت فوق الأرض أربع أقدام، قاس الباحثون كم من الوقت قضت الجرذان في الذراعين المفتوحتين اللتين تميل القوارض إلى تفاديهما بسبب كونهما مرتفعتين ومكشوفتين (خلافا للحال في الذراعين المسدودتين للمتاهة). هنا وجد الباحثون أن الجرذات الأمهات من جميع الأعمار كانت أجرأ من العذارى، إذ تصرف وقتا أطول في الذراعين المكشوفتين المثيرتين للخوف.





(*) Mother Knows Best

تكاد الجرذات الأمهات تتفوق على الدوام على الجرذات العذارى في المنافسات التي تتضمن مهامّ متعددة.

مغزى في الذكاء العام. أما الصحافية <K. إليسون> فقد وثّقت عدة حالات قد تساعد فيها المهارات المكتسبة من خلال **الوالدية** parenting النسوة في أمكنة عملهن. هذا، وتتطلب القيادة الناجحة حساسية تجاه احتياجات المستخدمين وحذرا مدعما تجاه التحديات والتهديدات المحتملة، ولكن هل يمكن لهذه المهارات أن تنتقل من دار الحضانة إلى مكاتب الإدارة؟

لقد بدأ الباحثون يركزون على مهارةٍ ترافق الأمومة تقليديا، ألا وهي مقدرة القيام **بمهام متعددة** multitask. فهل تتيح التغيرات في دماغ الأم للأمهات الموازنة بين طلبات متنافسة (تتمثل في رعاية الطفل وأداء العمل وتلبية الالتزامات الاجتماعية وغيرها) على نحو أفضل من اللاأمهات؟ صحيح إن الإجابة عن ذلك لا يعرفها العلماء حتى الآن، ولكن الدراسات تشير إلى أن الدماغ البشري يتصف بالمرونة إلى حد كبير؛ إذ إن بنيته ونشاطه يمكن أن يتغيرا حين يواجه الشخص تحديا ما. فلقد وجد <A. ماي> وزملاؤه [في جامعة ريگنزبورگ] تغيرات في أدمغة الشابات والشباب الذين تعلموا كيفية تداول قذف ثلاث كرات في الهواء، إذ توسعت المناطق المخصصة لإدراك الحركة والتنبؤ بها بعد أن تعلم المفحوصون كيفية تداول الكرات وقذفها، ثم انكمشت هذه المناطق بعد التوقف عن ممارستها. وبالمثل، فإن التغيرات الحاصلة في دماغ الأم ربما تتيح لها أن تتداول طلبات **الوالدية** parenthood بنجاح.

وتبين الدراسات على الحيوان أن الجرذات الأمهات تجيد بشكل خاص مقدرة المهام المتعددة. فقد أوضحت تجارب أجريت في مختبر لامبرت أن الجرذات الأمهات تتفوق على الدوام تقريبا على الجرذات العذارى في المنافسات التي تتضمن رصد ومراقبة مشاهد تلفزيونية وأصوات وروائح وحيوانات أخرى في آن معا. وفي سباق للعثور على طعام مفضل، كانت الجرذات التي سبق لها الحمل مرتين أو أكثر هي السبّاقة إلى تناوله طوال 60 في المئة من الزمن، مقابل 33 في المئة للجرذات التي عاشت حملا واحدا فقط، وذلك مقارنة بـ7 في المئة للجرذات العذارى.

وأخيرا، ماذا عن دماغ الأب؟ هل يكتسب الآباء الذين يعتنون بالنسل أي مزايا عقلية؟ للإجابة عن ذلك قد تزودنا دراسات على نسناس **القشة** mormoset الصغير (الذي يشيع في البرازيل) ببعض الاستبصارات. فهذه النسانيس **أحادية الزواج** monogamous (الذكر متزوج بزوجة واحدة)، ويشترك كلا الوالدين في الاعتناء بالنسل. وبالتعاون مع <S. إيفانس> و<G.V. كابري> من أجمة (غابة) النسانيس في ميامي بفلوريدا قامت <A. كاريت> [من مختبر لامبرت] باختبار أم وأب من هذه النسانيس على شجرة تحمل أواني للطعام. وكان على النسناسين أن يتعلما أيا من هذه الأوعية يحمل طعاما أكثر. وهنا لوحظ أن الوالدين (الأم والأب) يتفوقان على النسانيس غير الوالدية في هذا الاختبار. وقد دعمت هذه النتيجة دراسات سابقة كانت قد فحصت نوعا من الفئران يحمل اسم *Peromyscus clifornicus*، ويسهم فيه الذكر بالرعاية الوالدية بشكل كبير. هذا وقد وجدت <E. كلاسبر> وطلبة آخرون [في مختبر لامبرت] أن الفئران الآباء شأنهم شأن الفئران الأمهات ينجحون في المتاهة الأرضية الجافة. كما أظهر <A. إيفيرين> و<K. تو> أن الآباء كانوا أسرع في استقصاء المنبهات الحديثة (مثل أحجار الليگو) من نظرائهم العزاب.

وفي الختام، يبدو أن الخبرة التناسلية تثير تغيرات في دماغ الثدييات من شأنها تغيير المهارات والسلوكيات وبخاصة لدى الإناث. وبالنسبة إلى الأنثى، يتمثل التحدي الأكبر (بالمنظور التطوري) في تأمين تنمية استثمارها الجيني. لقد تطورت سلوكيات الأمومة بحيث تزيد من فرص نجاح الأنثى. وهذا لا يعني أن الأمهات أفضل من نظيراتهن العذارى في جميع المهام. ولكن في جميع الاحتمالات، لا تتحسن إلا السلوكيات التي تؤثر في الإبقاء على حياة نسل الأمهات. ويبقى أن هناك عدة مكاسب يبدو أنها تشتق من الأمومة كلما ارتقى دماغ الأم إلى مستوى التحدي التناسلي الذي يواجهها. وبكلمات أخرى، حينما يغدو المسير شاقا، يَشقّ الدماغ مسيرته. ■

المؤلفان

Craig Howard Kinsley - Kelly G. Lambert

قضيا أكثر من عقد من الزمن يتحريان تأثيرات الحمل والأمومة في دماغ الإناث. يشغل كنسلي أستاذية «مكلدين ترآويك» للعلوم العصبية في قسم علم النفس مركز العلوم العصبية بجامعة ريشموند. أما لامبرت فهو أستاذ العلوم العصبية سلوكية وعلم النفس ورئيس قسم علم النفس والمدير المعاون لمكتب الأبحاث جامعية في راندولف ـ ماكون كوليج.

مراجع للاستزادة

Mother Nature: Maternal Instincts and How They Shape the Human Species. Sarah B. Hrdy. Ballantine Books, 2000.

The Maternal Brain: Neurobiological and Neuroendocrine Adaptation and Disorders in Pregnancy and Post Partum. Edited by J. A. Russell, A. J. Douglas, R. J. Windle and C. D. Ingram. Elsevier, 2001.

A Tribute to Paul MacLean: The Neurobiological Relevance of Social Behavior. Edited by K. G. Lambert and R. T. Gerlai. Special issue of *Physiology and Behavior*, Vol. 79, No. 3; August 2003.

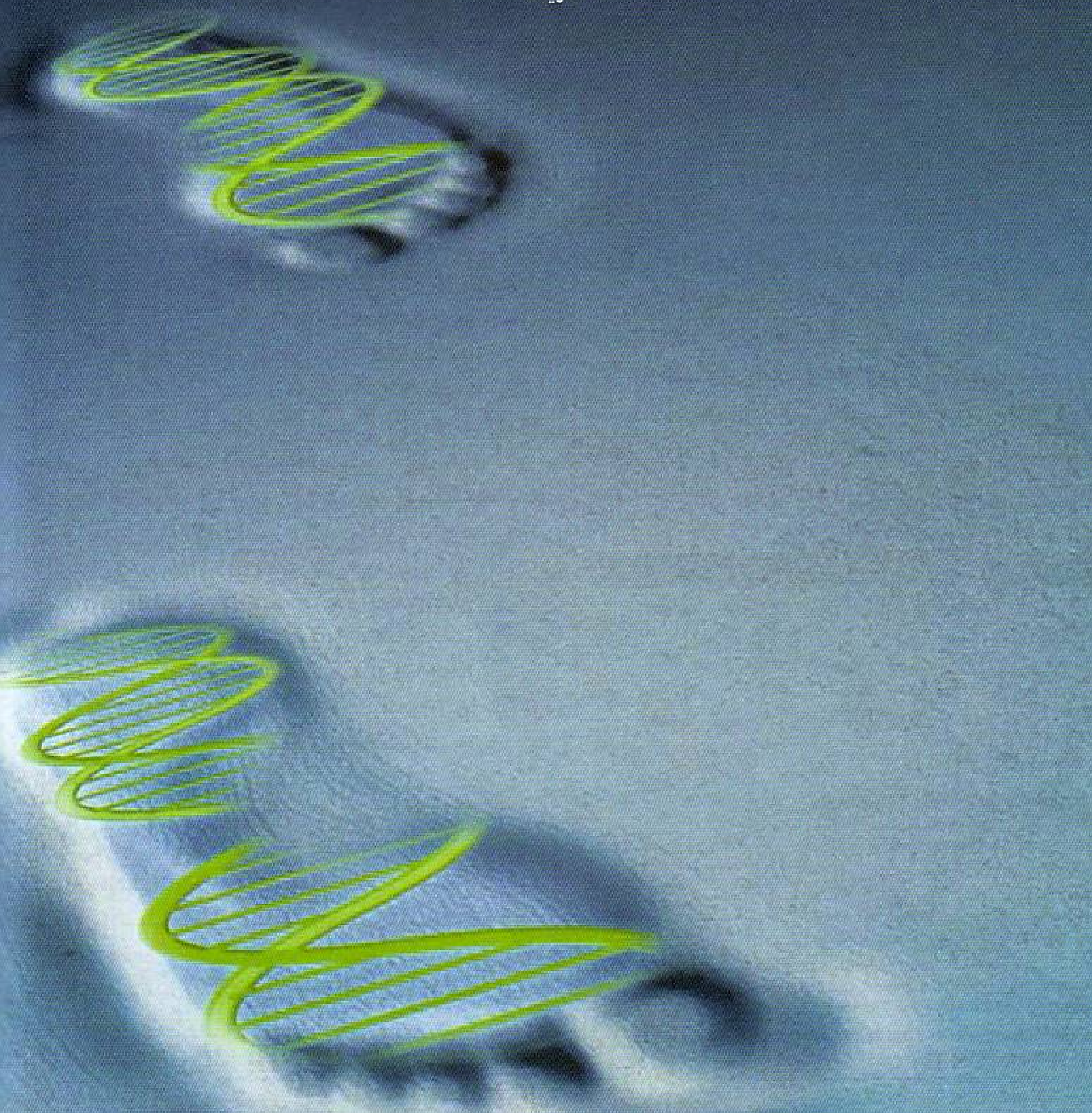
The Neurobiology of Parental Behavior. Michael Numan and Thomas R. Insel. Springer-Verlag, 2003.

Scientific American, January 2006

طفرات وراثية مُنشِئة(*)

بوسع مجموعة خاصة من الطفرات الوراثية التي غالبا ما تسبب أمراضا بشرية، أن تمكن العلماء من اقتفاء أثر هجرة ونمو جماعات بشرية معينة عبر آلاف السنين.

<D. درينا>





يمكن لرجلين كهلين يعيشان في الولايات المتحدة أحدهما بعيد عن الآخر آلاف الأميال ولم يسبق لأي منهما أن التقى الآخر، أن يحملا خلة مشتركة تتمثل بنزوعهما إلى امتصاص الحديد على نحو مرض جدا لدرجة أنه يمكن لهذه الفائدة الظاهرية أن تصبح في الواقع غير صحية: أي يمكن أن تلحق الأذى بأعضاء عديدة، أو حتى تسبب الموت. وغالبا ما يحمل شخص ما هذه الخَلة، وتدعى **الصُباغ الدموي الوراثي** herditary hemochromatosis، لأن كلا من والديه قد نقلا إليه الطفرة ذاتها في جينة معينة، خطأ نشأ منذ زمن بعيد في شخص واحد في أوروبا. وحُملت الطفرة عندئذ عبر الزمن والمكان من قبل المتحدرين من هذا الأوروبي، ويبلغ عددهم حاليا 22 مليون أمريكي، يحمل كل منهم نسخة واحدة على الأقل من هذه الجينة، بما في ذلك الرجلان المذكوران آنفا، اللذان قد يُفاجآن أن يعلما بأن صلة قربى تجمع بينهما. ويُعرف السلف، الذي قضى منذ زمن بعيد، **بالمنشئ** the founder لهذه الجماعات البشرية، ويُعرف ميراثه (أو ميراثها) التطوري **بالطفرة المُنشئة** founder mutation.

لقد اكتشف المختصون بالوراثة آلاف الطفرات المسؤولة عن الأمراض في البشر، ولكن الطفرات المنشئة شيء مختلف. فضحايا العديد من الأمراض الوراثية يموتون قبل أن يتناسلوا، الأمر الذي يحول دون وصول الجينات الطافرة إلى الأجيال القادمة. أما الطفرات المنشئة، فإنها تستبقي حامليها غالبا، وبذلك يمكنها أن تنتشر بدءا من مُنشئها الأصلي إلى المتحدرين منه، سواء أكان المنشئ ذكرا أم أنثى. وتكون بعض الاضطرابات الناجمة عن تلك الطفرات شائعة، كالصُباغ الدموي الوراثي الذي تسببه الطفرة التي ذُكرت آنفا، وكذلك فقر الدم المنجلي والتليف الكيسي. (ولكن لماذا يحافظ التطور على تلك الطفرات، التي هي ظاهريا مؤذية، عوضا عن التخلص منها؟ إننا سنوضح منطق الطبيعة هذا في سياق هذه المقالة.)

يدرس باحثو الطب الطفرات المرضية على أمل أن يعثروا على طرائق بسيطة لتعرف مجموعات الناس المعرضين للخطر، وأيضا للتوصل إلى أفكار جديدة لمنع الحالات المتصلة بهذه الطفرات ولمعالجتها [*انظر الإطار في الصفحة 31*]. واكتشف الباحثون، كحصيلة ثانوية استثنائية لهذه الجهود، أنه يمكن للطفرات المنشئة أن تعمل كآثار أقدام تركتها البشرية لدى انتشارها عبر الزمن. إن هذه الطفرات تزود الأنثروبولوجيين (المختصين بعلم الإنسان) بطريقة فعالة لاقتفاء تاريخ الجماعات البشرية وهجراتها في الأرض كلها.

تَفَرُّد الطفرات المنشئة(*)

إن تقدير الوضع غير العادي للطفرات المنشئة حق قدره ولماذا تُقدم هذا الكم الكبير من المعلومات، يقتضي دراسة موجزة للطفرات عامة. فالطفرات تنشأ نتيجة تغيرات عشوائية **لدنا** DNA خلايانا. ويتم تصليح معظم هذا الأذى أو التخلص منه عند الولادة، فلا يُنقل إلى الأجيال التالية. ولكن بعض الطفرات ـ ويطلق عليها اسم طفرات **الخط المنتش** germ-line ـ تُنقل إلى الأجيال اللاحقة: غالبا مع عواقب طبية خطيرة للذراري التي ترثها. إن أكثر من ألف مرض مختلف ينشأ عن طفرات في الجينات البشرية المختلفة.

وتقع الطفرات المنشئة في فئة الخط المنتش، ولكن على نحو لانمطي. وتنطبق عادة على الأمراض الموروثة قاعدتان عامتان. الأولى منهما أن الطفرات المختلفة في الجينة نفسها تسبب عموما المرض ذاته. وينجم عن ذلك عادة أن

(*) The Uniqueness of Founder Mutations

تكون لدى العائلات المختلفة التي أصيبت بالمرض نفسه طفرات مختلفة مسؤولة عن ذلك المرض. فمثلا، تنشأ اضطرابات النزف المعروف بالناعور عن طفرة في الجينة المكودة للعامل VIII (الثامن)؛ وهو أحد مكونات منظومة تجلط الدم. وعموما، فإن كل حالة جديدة من الناعور تحمل طفرة متفردة ومنفردة في جينة العامل VIII. لقد تعرف الباحثون طفرات في مئات المواضع من هذه الجينة.

بيد أنه في عدد قليل من الاضطرابات تُلاحظ الطفرة نفسها تكرارا. ويمكن لهذه الطفرة المثيلة أن تنشأ بطريقتين مختلفتين: طفرة **النقطة الساخنة** hot-spot أو الطفرة المنشئة. والنقطة الساخنة هي زوج (شفع) من الأسس[1] (القواعد) ينزع إلى الطفر بصورة استثنائية. فمثلا، **الودانة** achondroplasia شكل شائع من القزامة ينتج عادة من طفرة في زوج الأسس 1138 في الجينة المعروفة بالرمز FGFR3 على الذراع القصيرة للصبغي الرابع. ولا تكون هنالك عادة صلة قربى بين الأفراد الذين يؤوون طفرات النقاط الساخنة، ومن ثم فإن بقية الدنا لديهم ستتغاير نمطيا كما هي الحال في الأفراد الذين لا تربطهم صلة قربى. إن الطفرات المنشئة، التي تُنقل عبر الأجيال تماما كما هي، تتميز كليا عن طفرات النقاط الساخنة العفوية.

ويكون الدنا التالف لدى كل من يحمل طفرة منشئة مطمورا في مَدّ أطول من الدنا مطابق لدنا المنشئ. ويعرّف العلماء تلك الظاهرة بأنها «مثيلة (مطابقة) بالنسب». ويطلق على كامل هذه المنطقة المشتركة من الدنا ـ وهي عُليبة (كاسيت) بكاملها من المعلومات الوراثية ـ اسم **النمط الفرداني** haplotype. إن من يتقاسم النمط الفرداني يتقاسم أيضا سلفا، هو المنشئ. إضافة إلى ذلك، فإن دراسة هذه الأنماط الفردانية، تجعل من الممكن اقتفاء أثر أصول الطفرات المنشئة، ومن ثم اقتفاء أثر الجماعات البشرية.

ويمكن تقدير عمر الطفرة المنشئة بتحديد طول النمط الفرداني، الذي يتقاصر مع الزمن [*انظر الإطار في الصفحة 30*]. وفي الحقيقة، فإن النمط الفرداني للمنشئ الأصلي هو الصبغي بكامله، الذي يتضمن الطفرة. ويتم نقل المنشئ على هذا الصبغي إلى النسل، حيث يسهم زوج المنشئ (أو زوجته) بصبغي نظيف تماما. ويتبادل الصبغيان (صبغي واحد من كل من الوالدين) تبادلا عشوائيا قطعًا من الدنا، تماما كمجموعتين من أوراق اللعب تقطعان وتخلطان جُزافا.

وستظل الطفرة مطمورة في قطعة طويلة جدا من دنا نسخة المنشئ بعد **تأشيب** recombination واحد فقط، تماما كما يحدث في الغالب لورقة اللعب المعلّمة، التي تظل مترافقة مع العديد من أوراق اللعب التي كانت قبلها وبعدها في المجموعة الأصلية، بعد دورة واحدة من القطع والخلط العشوائيين. ولكن الورقة المعلّمة ستترافق بعدد من الأوراق، يقل تدريجيا بعد كل قطع وخلط. وبطريقة مماثلة، فإن النمط الفرداني، الذي يشتمل على الجينة الطافرة، سيتقاصر تدريجيا مع كل تأشيب تال.

بناء على ذلك، فإن طفرة منشئة فتية عمرها بضع مئات السنين فقط، يجب أن تتواجد في أناس يحملونها حاليا في وسط نمط فرداني طويل؛ في حين أن طفرة منشئة معمرة، ربما يبلغ عمرها بضع عشرات آلاف السنين، ستتواجد في حامليها الحاليين ضمن نمط فرداني قصير.

إن زيغ جينة الصُّباغ الدموي مجرد واحد في سجل شذوذات الطفرات المنشئة. وقد عُرف عدد آخر، ودُرس دراسة مفصلة في الأوروبيين، وتم حاليا تعرف عدد قليل منها في سكان أمريكا الأصليين وآسيا وإفريقية [*انظر الإطار في الصفحة 32*]. وتتمثل الحقيقة اللافتة للنظر في الشيوع الذي يميز هذه الطفرات؛ فتواترها يزيد مئات بل حتى آلاف المرات على تواتر الطفرات النمطية، التي تسبب الأمراض. إن معظم طفرات الأمراض يوجد بتواتر يراوح ما بين طفرة واحدة في بضعة آلاف فرد وطفرة واحدة في بضعة ملايين. أما الطفرات المنشئة فيمكن لتواترها أن يرتفع ليصل إلى بضعة أفراد في كل مئة من السكان.

ويقدم هذا الشذوذ ـ ألم يكن من الحري بالتطور أن يتخلص من هذه الجينات الضارة، عوضا عن نشرها بالانتقاء؟ ـ مفتاحا مهما للغز استمرار وانتشار الطفرات المنشئة على اليابسة وفي البحر وعبر الزمن.

وتتمثل الإجابة، التي ربما لن تكون مفاجئة، في أن الطفرات المنشئة قد تُثبت في ظروف معينة أنها مفيدة. إن معظم الطفرات المنشئة هي طفرات صاغرة؛ أي إن الفرد لن يقاسي المرض إلا إذا ورث نسختين من الجينة الطافرة: واحدة من كل من والديه. ويُطلق على الناس الذين يشكلون نسبة مئوية عالية جدا ويملكون نسخة واحدة، اسم **حاملي المرض** carriers. إن بوسعهم نقل الجينة إلى أولادهم، ولا تظهر عليهم أعراض المرض. والنسخة الواحدة من الطفرة المنشئة تمنح الحامل أفضلية في صراعه من أجل البُقيا (البقاء على قيد الحياة).

فمثلا، يُظن أن حَمَلة طفرة الصُّباغ الدموي محميون من فقر الدم الناجم عن عوز الحديد (حالة كانت في الماضي تهدد الحياة)، لأن البروتين المكود في الجينة الطافرة يجعل المرء يمتص الحديد بكفاية أعلى من الأفراد الذين يحملون نسختين سويتين من الجينة. لذا، فإن حاملي المرض كانوا يملكون هامشا من الحماية عندما كان الحديد الغذائي نادرا.

نظرة إجمالية/ تاريخ في تسلسل(*)

- إن الطفرات المنشئة هي صف خاص من الطفرات الجينية؛ مطمورة في مَدّات من stretches الدنا DNA متطابقة تماماً في جميع الأفراد الذين يحملونها. إن كل شخص لديه طفرة منشئة، له سلف عام هو المنشئ، ظهرت فيه الطفرة أولا.
- إن قياس طول مَدّ الدنا الذي يحوي الطفرة المنشئة وتعرّفَ الحاملين الحاليين لهذه الطفرة، يمكّان العلماء من حساب التاريخ التقريبي الذي ظهرت فيه تلك الطفرة لأول مرة، وتحديد المسار الذي سلكته في انتشارها. ويقدم هذان النوعان من البيانات معلومات عن هجرات عبر التاريخ لجماعات معينة من البشر.
- مع تمازج جماعات بشرية منفصلة، فإن الطفرات المسببة للأمراض التي تترافق حاليا مع جماعات إثنية (عرقية) معينة، ستتواجد على الأرجح عشوائيا. وسيتجه طب المستقبل إلى تحليل الدنا كي يحدد مخاطر الأمراض التي تترافق حاليا مع الإثنية.

(*) Overview / History in a Sequence

(1) وهي الوحدات الإفرادية للدنا.

أصلي قديم مقابل وافدين كثر(*)

إذا كانت لدى أفراد مجموعة مصابين جميعهم بالمرض نفسه، الطفرة ذاتها في نقطة محددة من دنا خلاياهم، فكيف يمكن للأطباء أن يتأكدوا مما إذا كانوا بصدد طفرة النقطة الساخنة، أم بصدد طفرة منشئة؟ يمكنهم ذلك بتحليل تتابعات الدنا المجاورة.

لنفترض أن الكود لدى المرضى جميعهم تغير في نقطة محددة من T إلى A (*الأحمر في الأسفل*). فإذا كانت A طفرة منشئة، فإن التسلسلات المجاورة في المرضى كافة ستكون مثيلة: أي إن المرضى ورثوا التسلسل الكامل من السلف نفسه الذي قضى قبل زمن بعيد؛ أما إذا كانت A طفرة لنقطة ساخنة، حدثت تلقائيا في مكان ينزع فيه الدنا إلى الخطأ، فإن التسلسلات المجاورة ستظهر أيضا فروقا أخرى (*الذهبي*) في مواقع يكوّد فيها الدنا على نحو سوي، إنما ينزع فيها إلى التفاوت من دون أن يسبب المرض.

إن مرض الخلايا المنجلية الذي يتميز بكريات حُمْر مشوهة الشكل (*الصورة العلوية*)، ينشأ عادة عن طفرة منشئة. أما **الودانة** achondroplasia، وهي شكل من التقزم البشري (*الصورة السفلية*)، فتنشأ عادة عن طفرة النقطة الساخنة.






وربما يتجسد المثال الأكثر شهرة عن طفرة جينية ذات حدين بالطفرة المسؤولة عن مرض الخلايا المنجلية. وعلى ما يبدو، نشأت طفرة الخلايا المنجلية على نحو متكرر في المناطق التي خربتها الملاريا (البُرداء) في إفريقيا والشرق الأوسط. إن نسخة واحدة من جينة الخلايا المنجلية تساعد حاملها على البُقيا في حال أُعدي (أُخمج) بالملاريا. ولكن النسختين تحكمان على من يحملهما بمقاساة الألم وبقصر العمر. ويمكن العثور حاليا على طفرة الخلايا المنجلية في خمسة أنواع مختلفة من النمط الفرداني، تفضي جميعها إلى الاستنتاج بأن الطفرة ظهرت على نحو مستقل خمس مرات في خمسة منشئين مختلفين (ومع أن مرض الخلايا المنجلية ينجم عادة عن طفرة منشئة، فإن بعض الحالات تنشأ قطعا عن طفرات أخرى).

وتتحكم في تواتر الطفرة المنشئة في الجماعة السكانية الواحدة قوتان تنافسيتان. فالفرد الذي يحمل نسختين، يحتمل أن يموت قبل أن يتناسل، ولكن من يحمل نسخة واحدة سيكون عمره أطول على نحو تفضيلي من الفرد الذي لا يحمل أي نسخة. وتُنتج هذه الظاهرة ما يعرف بالانتقاء التوازني، حيث تعمل التأثيرات المفيدة على رفع تواتر الجينة الطافرة؛ في حين تعمل التأثيرات المؤذية على خفض التواتر. فالتطور إذًا يعطي ويأخذ. وهكذا، فإن الجينات الطافرة تصل عبر الزمن في الجمهرة السكانية الواحدة إلى مستوٍ مستقر.

ولكن الباحثين مازالوا غير قادرين على تعرف الأفضلية التي تمنحها بعض الطفرات المنشئة ذات الصلة بالأمراض، مع العلم بأن استمرار بقاء الجينة يشير قطعا إلى وجود فائدة من نوع ما. فمثلا، قد يستطيع اكتشافٌ تحقّق مؤخرا أن يفسر استمرار العامل **لايدن V** V Leiden؛ وهو طفرة في جينة العامل V (الخامس): الجينة المسؤولة عن مكون آخر من مكونات تجلط الدم. إن هذه الطفرة المنشئة التي يبلغ تواترها 4 في المئة لدى الأوروبيين، تؤدي إلى **خُثار** thrombosis: حالة من التجلط الدموي المرضي. ففي عام 2003، برهن <B. A. كيرلين> وزملاؤه [في مركز الدم لساوث إيست ويسكونسن وفي كلية طب ويسكونسن] على أن حَمَلَة هذه الطفرة يقاومون التأثيرات المميتة لعدوى (خمج) بكتيرية في مجرى الدم. وكانت هذه التأثيرات تمثل تهديدا خطيرا للبُقيا في حقبة ما قبل المضادات الحيوية، ولاتزال تشكل حاليا سببا من أسباب الموت.

انتشار جيني مستمر حول العالم(**)

لقد هاجرت الطفرات المنشئة، قبل وسائط النقل العصرية بزمن طويل، مسافات شاسعة: رحلات استغرقت، في حالات عديدة، دزينات وحتى مئات من الأجيال. فخلّة الخلايا المنجلية هاجرت من إفريقيا

(*) An Old Original Vs. Numerous Newcomers

(**) A Gene Spread Round the World

غربا باتجاه أمريكا على متن بواخر العبيد، وشمالا إلى أوروبا. إن طفرة منشئة شائعة في جينة تُعرف بالرمز GJB2، تسبب الصمم. لقد تم اقتفاء أثر هذه الطفرة بدءا من أصولها في الشرق الأوسط عبر مسارين مختلفين: أحدهما شاطئ المتوسط إلى إيطاليا وإسبانيا، والآخر عبر وديان نهري الراين والدانوب إلى أوروبا الشمالية. وعلى ما يبدو، فإن طفرة منشئة في جينة تعرف بالرمز ABCA4 وتسبب العمى، كانت قد نشأت قبل 2700 عام في السويد، وانتشرت إلى الجنوب والغرب عبر أوروبا.

ولكن من المحتمل أن تقدم التغايرات الجينية في حاسة التذوق المثال الأكثر تطرفا على الهجرة. فقرابة 75 في المئة من سكان الأرض يدركون بالتذوق مادة تعرف **بفنيل التيوكرباميد** phenyl thiocarbamide (PTC) على أنها شديدة المرارة، أما البقية (25 في المئة) فلا يدركون على الإطلاق مرارة المادة PTC. لقد اكتشفت وزملائي [في المعاهد الوطنية للصحة] مؤخرا أن تضامية[1] تتألف من ثلاثة تغيرات مختلفة، هي التي تقود إلى شكل الجينة التي تكوِّد البروتين المستقبل في غير المتذوقين للمادة PTC. وعمليا، فإن غير المتذوقين كافة في العالم أجمع تحدروا من فرد منشئ واحد امتلك هذه التغيرات النوعية في الجينة. لقد وُجد الإحساس بالتذوق المر لحمايتنا من أكل المواد السامة في النباتات، ولكن ما هي الفائدة المحتملة للجينة المتخالفة لدى غير المتذوقين؟ إننا نرتاب في أن الشكل غير المتذوق يكوّد نسخة معدلة لكاشف المادة PTC، تحولت كي تتحسس مادة سامة أخرى لم يتم تعرفها حتى الآن.

إن طفرة غير المتذوقين مطمورة في مدًى غاية في القصر من الدنا السفلي، يبلغ في بعض من يحمله 30 000 زوج من الأسس فقط. وينبئنا هذا بأن الطفرة المنشئة قديمة جدا، ويحتمل أن يزيد عمرها على 100 000 عام. وفي العام الماضي (2004)، أوضحت دراسات عالمية النطاق وجود سبعة أشكال مختلفة من جينة PTC في المناطق الإفريقية التي تلي الصحراء الكبرى. ولكن المتذوقين وغير المتذوقين الرئيسيين وحدهم وُجدوا بتواتر ذي معنى خارج الجماعات السكانية الإفريقية. ووُجد أحيانا من أصل الأشكال الخمسة المتبقية واحد فقط في المجاميع

تتقاصر مع العمر(*)

إن منطقة من الصبغي متفردة في قابلية تعرفها ـ النمط الفرداني ـ وتحيط بطفرة منشئة تتقاصر مع الأجيال بسبب تمازج الصبغيات بسيرورة تعرف بالتأشيب. ففي هذا المثال، يحوي الصبغي الأصفر في المنشئ الطفرة المنشئة، في حين أن الصبغي الأزرق أتى من والد سوي. وعندما يُنتج المنشئ نطافًا أو بيوضا، فإن الصبغيين يتبادلان قطَعا. إن النسل الحامل يرث صبغيا جديدا مزيجا، يشتمل على الطفرة وعلى أقسام أخرى من النمط الفرداني للمنشئ (*الناحية الصفراء*). ويؤدي التمازج الصبغي عبر الأجيال، وعلى نحو محتوم، إلى نمط فرداني متقاصر.

(*) Getting Shorter With Age

(1) combination

السكانية غير الإفريقية، ولم يُعثر قط على هذا الشكل في مستوطني العالم الجديد، في حين أن الأشكال الأربعة الأخرى بقيت حصرا إفريقية.

وتزودنا طفرة غير متذوقي المادة PTC بكمية استثنائية من المعلومات ذات الصلة بالهجرات البشرية المبكرة. ويؤكد توزع هذه الطفرة وتواترها الدليل المنبثق عن الأنثروبولوجيا (علم دراسة الإنسان) وعلم الآثار القديمة، على أن الجماعات السكانية الأصلية للإنسان الحديث عاشت أولا في إفريقيا، ثم نشأت، قبل 000 75 عام، جماعة صغيرة جدا من هؤلاء الإفريقيين، وانتشرت عبر القارات الخمس - فرضية «**الخروج من إفريقيا**» Out of Africa. ولقد تحدرت كل الجماعات السكانية الحالية غير الإفريقية من هذه الجماعة الصغيرة. ولكن إضافة إلى تأكيد بيانات سابقة، فإن الشكل غير المتذوق يساعد على الإجابة عن أحد الأسئلة الأكثر إثارة للجدل في الإنثروبولوجيا المعاصرة.

هل تَهاجَن أسلافنا من الإنسان العاقل في أثناء انتشارهم عبر العالم مع أشكال شبه بشرية أكثر قدما، التقوها في أوروبا وآسيا؟ يُفترض أن أشباه الإنسان القدماء كانوا على نحو مؤكد تقريبا يمتلكون الأشكال الخاصة بهم من جينة PTC؛ تم انتقاؤها كاستجابة للسموم الطبيعية الموجودة في الفلورة (النبيت) المحلية. فإذا ما أنتج أشباه الإنسان الآخرون أعقابا من الإنسان العاقل المتزاوج معهم، سنتوقع عندئذ أن نجد أشكالا مختلفة من جينة PTC في المجاميع السكانية الأوروبية أو الشرق آسيوية أو الجنوب شرق آسيوية. ولكن يوجد غياب واضح لمثل هذا المتغير. لذا، فإننا نعتقد أن تفحص الطفرات المنشئة في البشر الأحياء حاليا، يوضح أنه لم يحدث تهاجن ناجح بين إنسان اليوم وبين جماعات بشرية أخرى في أثناء هذه الهجرة الخارجية الكبرى؛ أي قبل عشرات آلاف السنين.

جينات الأمس، طب الغد(*)

تنطوي القدرة على تعرّف الطفرات المنشئة على أهمية استثنائية فيما يتعلق بممارسة الطب. فمثلا، تساعد معرفة هذه الطفرات الأطباء على تعرّف المرضى الذين يجب اختبارهم بشأن أمراض معينة. ويمكن حاليا للأطباء أن يعولوا على إثنية الفرد من أجل أن يحددوا خطورة بعض الأمراض، ولكي يقوموا باختبارات إضافية. وعلى سبيل المثال، نذكر أن معظم مرضى الخلايا المنجلية هم من أصل إفريقي. ولكن مع تزايد التمازج الجيني لأفراد بني البشر، تتزايد الصعوبة في تحديد أصل جغرافي سلفي أو إثنية نوعية لأي فرد من الأفراد. ومع اضمحلال الخلفية الإثنية كمفتاح أو كسبب للأعراض التي يبديها المريض فإن الأطباء سيعتمدون على اختبار دنا DNA الأفراد أكثر كلما حاولوا تعرف مخاطر المرض أو سبب أعراضه. لذا، فإن العثور حاليا على الطفرات المنشئة في وقت مازالت فيه الجماعات السكانية البشرية متميزة بعضها من بعض جينيا، سيساعد على تعرف جينات معينة مسؤولة عن حالات مرضية عديدة.

وفي الحقيقة، فإنه يمكن النظر إلى الطفرات المنشئة المعروفة على أنها حالات خاصة لمجموعة كبيرة جدا من المتغايرات المسببة للأمراض التي توجد في دنا خلايانا. ومع أننا نجهل حتى الآن طبيعة العديد منها، فمن المرجح أن تكون هذه الطفرات قديمة الأصل. وكما لوحظ خلال هذه المقالة، فإن هذه المتغايرات ذات الصلة بالأمراض، كانت احتماليا مفيدة لبني البشر في مواطن أسلافهم، لذا فإنها غدت شائعة في الجماعات البشرية. ولكن لقاء جيناتنا القديمة التي أتت من أمكنة واسعة الانتشار، بالبيئات وأنواع السلوك العصرية ربما أفضى إلى علل تحولت فيما بعد إلى اضطرابات رئيسية.

وسيغدو التقييم الجيني مهمًا في الممارسة الطبية بمعناها الواسع، ذلك أن هذه المتغايرات العديدة ستجعلنا احتماليا متأهبين لاضطرابات شائعة كثيرة، وليس لمجرد أمراض وراثية نادرة. والمثال على هذه المتغايرة الجينية هو تلك التي تجعلنا نصنع الكولستيرول، ولكنها تسهم حاليا في ارتفاع تركيز هذا الكولستيرول، أو تلك التي تساعد على استبقاء الملح، ولكنها أفضت حاليا إلى ارتفاع الضغط الدموي الحساس للملح. إن تمييز السمات الجينية النوعية المرتبطة بحالات شائعة ضارة، سيعني أن الوراثيات ستمضي من كونها تخصصا طبيا فرعيا يهتم باعتلالات نادرة غامضة، لتصبح ذات دور رئيسي في إدارة الأمراض البشرية والوقاية منها وتشخيصها.

<D. درينا>



تمثل حاليا ملاحظة الإثنية الطريقة السريعة التي يقدر بوساطتها الأطباء خطر أمراض معينة. ومع تزايد تمازج دنا البشرية أكثر فأكثر، فإن الدنا ذاته سيعطي معلومات للأطباء عن تأهب فرد ما للإصابة بهذه الأمراض.

إيجاد المنشئ(**)

وتوضح نظرة أكثر دقة للنمط الفرداني الذي يشكل أساس الصبَّاغ الدموي الوراثي كيف يمكن لاقتران السجلات التاريخية بالتحليل الجيني للجماعات السكانية الحالية أن يزودنا بتبصرات جديدة في أسباب وتاريخ حالة خاصة من الحالات. ففي الثمانينات، وقبل أن يتم تعرف الجينة المسببة للمرض، وجد الطبيون المختصون بالوراثة أن غالبية من لديهم الحالة المرضية تملك عمليا مدا مثيلا من الدنا على قسم من الصبغي السادس. وكانت هذه النتيجة مذهلة، ذلك أن معظم هؤلاء المرضى كانوا ظاهريا عديمي الصلة بعضهم ببعض، وكان من المتوقع أن يمتلكوا فروقا عشوائية في أي منطقة من مناطق التسلسل. وبسبب هذا المد المتفرد من الدنا، أدرك الباحثون أن المرضى الذين لديهم الصباغ الدموي الوراثي كانوا قد تحدروا، في أكثر الاحتمالات قبولا، من سلف مشترك فُقد قبل زمن بعيد، وأن الجينة المسؤولة عن تلك الحالة المرضية تقبع احتماليا في ذلك المد.

وانطلاقا من هذه الفرضية، أنجز فريقنا البحثي في التسعينات تحليلا مفصلا في عدد من المرضى يبلغ 101، للجينات التي

(*) Yesterday's Genes, Tomorrow's Medicine
(**) Finding a Founder

طفرات منشئة جديرة بالملاحظة(*)

الجينة المعتلة	الحالة	أصل الطفرة	الهجرة	الفائدة الممكنة لنسخة واحدة
HFE	حمل الحديد المفرط	أقصى شمال غرب أوروبا	الجنوب والشرق عبر أوروبا	الحماية من فقر الدم
CFTR	التليف الكيسي	جنوب شرق أوروبا/ الشرق الأوسط	الغرب والشمال عبر أوروبا	الحماية من الإسهال
HbS	مرض الخلايا المنجلية	إفريقيا/ الشرق الأوسط	إلى العالم الجديد	الحماية من الملاريا
لايدن FV	تجلطات الدم	أوروبا الغربية	عالمي الانتشار	الحماية من الإنتان spesis
ALDH2	سمية الكحول	أقصى شرق آسيا	الشمال والغرب عبر آسيا	الحماية من الكحولية alcoholism، التهاب الكبد B المحتمل
LCT	تحمّل اللاكتوز	آسيا	الغرب والشمال عبر الأوراس	إتاحة استهلاك الحليب من الحيوانات المدجنة
GJB2	الصمم	الشرق الأوسط	الغرب والشمال عبر أوروبا	غير معروف

يمكننا العثور عليها في الناحية المعنية من الصبغي السادس. كما أننا تفحصنا الدنا في 64 فردا ليست لديهم حالة الصُّباغ الدموي. لقد تشارك معظم المرضى تسلسلا طويلا يصل إلى عدة ملايين من أزواج الأسس. ولكن قلة من المرضى تشاركت جزءا صغيرا فقط من هذا التسلسل. ولدى مقارنتنا قسم الصبغي السادس الذي كان مثيلا في المرضى كافة، وجدنا أن تلك الناحية احتوت 16 جينة، وإن 13 جينة من هذه الجينات تكوِّد بروتينات تعرف بالهستونات، وهذه ترتبط بالدنا وتلفه على شكل بنى نقانقية المظهر، تُرى تحت المجهر في أثناء الانقسامات الخلوية. وتكون الهستونات والجينات الخاصة بها عمليا مثيلة في الكائنات الحية جميعها، لذا فقد اعتقدنا أنه من غير المحتمل أن تكون جينات الهستونات متورطة في الصُّباغ الدموي. وترك هذا التحليل ثلاث جينات يمكن أن تكون موضع اهتمامنا.

وتبين أن جينتين من الجينات الثلاث هي نفسها في مرضى الصُّباغ الدموي كافة وفي الأفراد الشاهدة (الضابطة) الصحيحة. ولكننا اكتشفنا في إحدى هاتين الجينتين التي تعرف الآن بالرمز HFE، طفرة توجد في الأشخاص الذين يحملون المرض، وغائبة على نحو واضح في الأفراد الذين ليس لديهم مشكلات ذات صلة بالحديد. لذا، فإن هذه الجينة يجب أن تكون محتوية على الطفرة المنشئة التي تسبب الصُّباغ الدموي الوراثي.

وقادنا اكتشافنا لجينة الطفرة المنشئة مباشرة إلى طرح بضعة أسئلة، أهمها من هو المنشئ؟ ومتى كان يعيش ذلك الشخص؟ وأين؟

إن تعقب الإجابة عن تلك الأسئلة قاد الطبيبن المختصين بالوراثة إلى ضم جهودهم إلى جهود المختصين بالأنثروبولوجيا والمؤرخين،



يُبقي الانتقاء المتوازن جينة ذات إمكان ضار في حالة انتشار دائم. ففي المناطق الموبوءة بالملاريا (البُرداء) التي ينشرها البعوض، يكون لامتلاك الفرد نسخة واحدة من طفرة جينة الهيموكلوبين تأثير واق. إن للأفراد الذين يحملون تلك الطفرة معدلا عاليا من البُقيا (البقاء على قيد الحياة). ولكن الأفراد الذين يرثون نسختين من الطفرة، يقاسون مرض الخلايا المنجلية، ويكون معدل البُقيا لديهم منخفضا. وتفضي هاتان القوتان المتنافستان في السكان إلى مستوى ثابت من طفرة الخلايا المنجلية.

التي أدت إلى إجابات لم تغدُ واضحة إلا مؤخرا. فلقد أظهر المسح أن الصُّباغ الدموي الوراثي يصادف عبر أوروبا جميعها، ولكنه يكاد أن يكون أكثر شيوعا في أوروبا الشمالية. أضف إلى ذلك أن الطفرة المنشئة كانت موجودة عمليا لدى جميع المرضى من الشمال، ولكنها ظهرت في أقل من ثلثي عدد مرضى شرق أوروبا وجنوبها. وتعني هذه النتيجة أن لدى الثلث الآخر طفرة أخرى في الجينة HFE، أو ربما لدى هذا الثلث فعلا اضطراب في استقلاب الحديد إنما مختلف كليا.

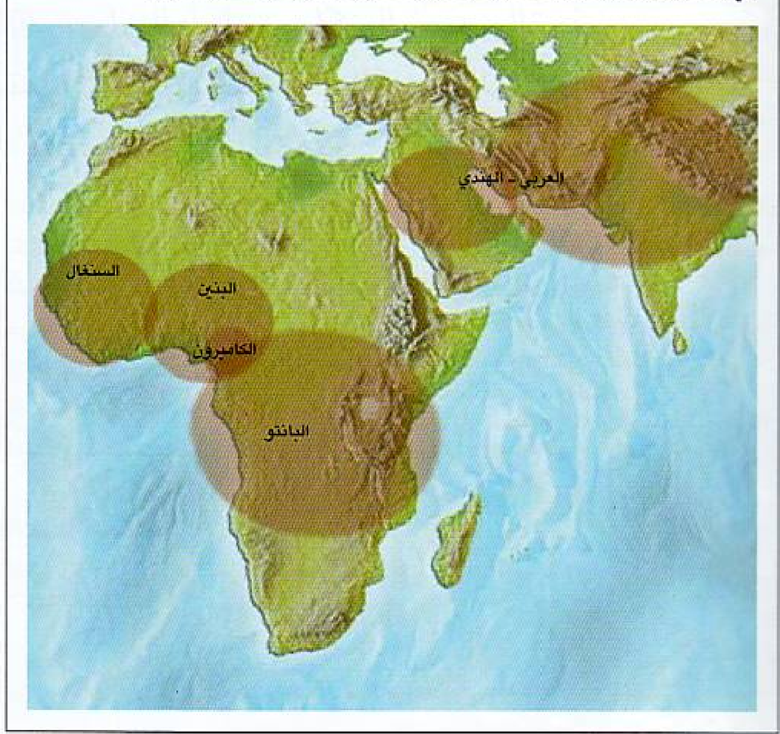
وبتركيز الانتباه على الشمال الغربي لأوروبا، فإن مسوحًا وراثية أكثر تفصيلا كشفت أن التواتر الأعلى للطفرة المنشئة يصادف في إيرلندا وبريطانيا العظمى الغربية وعبر القناة الإنكليزية في المقاطعة الفرنسية بريتاني. إن هذا الطراز يتراكب تراكبا تاما تقريبا مع التوزع الحالي لجماعة خاصة من الناس، هم **السلتيون** Celts.

وقد حكم السلتيون وسط أوروبا أكثر من 2000 عام. وارتحل بعضهم باتجاه الشمال والغرب بتوسيعهم الإمبراطورية الرومانية، في حين أن آخرين تمازجوا مع الأوروبيين الجنوبيين واستقروا في موطنهم الأصلي. فهل نشأت الطفرة المنشئة للصُّباغ الدموي في أوروبا الوسطى، ثم انتقلت شمالا مع حامليها المهاجرين، أم أنها نشأت في

(*) Noteworthy Founder Mutations

أصول غير مألوفة(*)

إن لجميع الناس المصابين بمرض الخلايا المنجلية الطفرة ذاتها. ولكن يمكن لتلك الطفرة أن تصادف في خمسة أنماط فردانية متميزة؛ الأمر الذي يشير إلى أن الطفرة نشأت على نحو مستقل في خمسة أوقات مختلفة عبر التاريخ البشري: كما توضح المناطق المبينة على الخريطة. ويمكن للمرضى أن يحملوا النمط الفرداني للسنغال أو البينين أو البانتو أو العرب ـ الهند أو الكاميرون (الذي اكتشف مؤخرا). إن ثمانية في المئة من الأمريكيين الأفارقة تحمل على الأقل نسخة واحدة من طفرة الخلايا المنجلية.



بدراسة أنماط أخرى من متغايرات الدنا بهدف اقتفاء أثر الجماعات السكانية. وتضيف حاليا الطفرات المنشئة بعدا جديدا لدراسات الدنا: إن «تعيير» طول النمط الفرداني يحدد عمر الطفرة، وحساب تواتر النمط الفرداني في الجماعة السكانية يقيس الانتشار الجغرافي للمتحدرين من المنشئ.

ويحمل كل واحد منا بصمات كيميائية حيوية تشهد على حقيقة أن بني البشر كافة هم أفراد عائلة واحدة، يربط بعضهم ببعض إرث مشترك يتمثل بالجينوم البشري. وإضافة إلى تأكيد فرضية «الخروج من إفريقية»، فإن تحليل الطفرات المنشئة قد كشف عن سلسلة نسب مشتركة لمجموعات متنوعة كانت تبدو ظاهريا غير ذات صلة. فمثلا، كشف بحث حديث قام به <B .D. گولدشتاين> [من جامعة ديوك] صلة جينية غير متوقعة بين السلتيين والباسكيين. ومما لا لبس فيه أن الأبحاث الإضافية في الطفرات المنشئة ستكشف عن قرابات جينية أكثر، تمنحنا استبصارات جديدة في التساؤل من أين أتينا، وكيف وصلنا إلى مواقعنا التي نحن فيها. وستكشف هذه الأبحاث أيضا عن قرابات مذهلة، قد تحث على إدراك أعمق للجذور المشتركة لشجرة العائلة البشرية. ■

(*) Uncommon Origins

الشمال أصلا؟ لقد أوصلت دراسات إضافية للدنا المجاور للطفرة على الصبغي السادس إلى الإجابة المحتملة.

إن الطول الواسع للنمط الفرداني الحديث الذي يشير إلى أن الطفرة المنشئة حديثة العهد تماما، أتى إلى الوجود قبل 60 إلى 70 جيلا فقط، وذلك قرابة عام 800 بعد الميلاد. وقد يقودنا عمرٌ أقدم إلى الاستنتاج أن المنشئ عاش في أوروبا الوسطى، وأن الطفرة انتشرت شمالا وغربا مع هجرة المتحدرين نتيجة النزعة التوسعية لروما. ولكن الإمبراطورية الرومانية سقطت في عام 800. لذا، فمن المرجح أن تكون الطفرة المنشئة قد نشأت في شمال غرب أوروبا، ثم انتشرت بعد ذلك إلى الجنوب والشرق بوساطة متحدريها المنشئين.

وفي السابق قام المختصون بعلم البشريات، وخاصة <L. كاڤيلي-سفورزا>،

المؤلف

Dennis Drayna

حصل على الإجازة العلمية من جامعة ويسكونسن ـ ماديسون عام 1975، وعلى الدكتوراه من جامعة هارفرد عام 1981. وأمضى فترة ما بعد الدكتوراه زميلا في معهد هاورد هيوز الطبي في جامعة يوتا، ثم 14 عاما في الصناعات التقانية الحيوية في منطقة بي أريا Bay Area (منطقة الخليج) بسان فرانسيسكو، حيث تعرف عددا من الجينات البشرية المتورطة في أمراض الجهاز القلبي الوعائي والتفاعلات الاستقلابية. وانضم <درينا> عام 1996 إلى المعاهد الوطنية للصحة، حيث يعمل حاليا رئيسا لقطاع المعهد الوطني للصمم وأمراض الاتصال الأخرى. وتتمثل اهتماماته البحثية الرئيسية في وراثيات اضطرابات الاتصال البشرية، وهو عمل اقتضى منه السفر إلى ثمانية بلدان مختلفة في أربع قارات، حيث بحث عن عائلات لديها هذه الاضطرابات. ويستمتع <درينا> في أوقات فراغه بتسلق الصخور والجليديات تسلقا محترفا في أمكنة نائية ناي الطفرات المنشئة في قارات أربع.

مراجع للاستزادة

The Great Human Diasporas: The History of Diversity and Evolution. Luigi Cavalli-Sforza. Addison-Wesley, 1995.

Out of Africa Again ... and Again? Ian Tattersall in *Scientific American*, Vol. 276, No. 4, pages 46–53; April 1997.

Natural Selection and Molecular Evolution in PTC, a Bitter-Taste Receptor Gene. S. Wooding, U. K. Kim, M. J. Bamshad, J. Larsen, L. B. Jorde and D. Drayna in *American Journal of Human Genetics*, Vol. 74, No. 4, pages 637–646; 2004.

The National Human Genome Research Institute's overview of its International Haplotype Map Project can be found at **www.genome.gov/10001688**

Scientific American, October 2005

تسونامي: موجة تغيير[*]

في أعقاب النتائج الكارثية لأمواج المحيط الهندي التسونامية[1] في الشهر 2004/12، صار العلماء ومراكز الرصد والتحذير أكثر أهبة واستعدادا للتنبؤ بمثل هذه الأمواج الرهيبة.

<E. L.> جيست ـ <V. V.> تيتوف ـ <E. C.> سينولاكيس

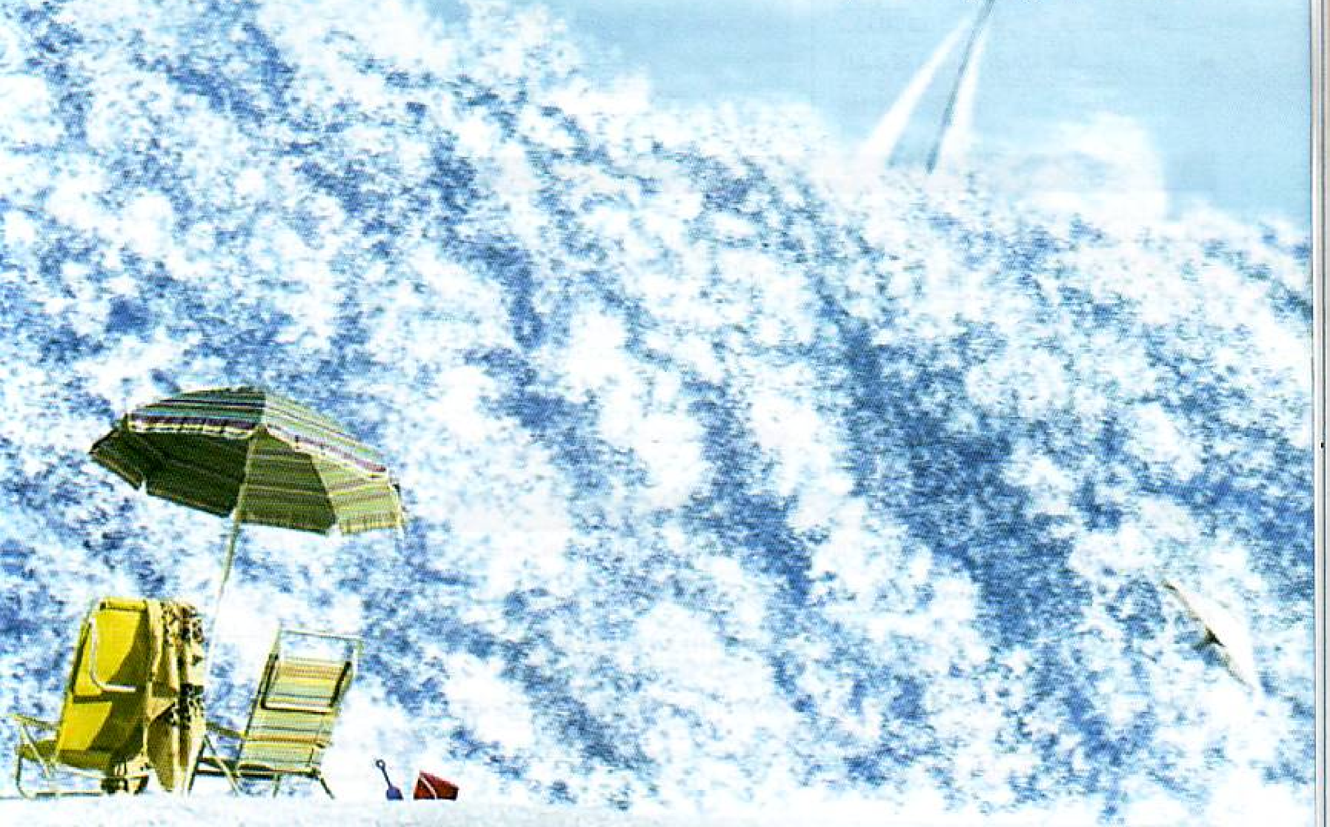
في 2004/12/26، ضربت سلسلة من الأمواج المدمرة كافة شواطئ المحيط الهندي، مسببة أكبر خسارة من أية موجة تسونامية سُجلت حتى هذا التاريخ. دمَّرت الأمواج العاتية المدن والقرى، وتسببت في قتل أكثر من 000 225 نسمة خلال ساعات معدودة وخلّفت على الأقل مليونا من الناس من دون مأوى.

أكدت هذه الكارثة المفجعة الحقيقة المهمة: إنه بازدياد عدد السكان في المناطق الساحلية في جميع أنحاء العالم، تشكل الأمواج التسونامية خطرا أكبر بكثير من ذي قبل. وفي الوقت نفسه، كانت الموجة التسونامية هذه، هي الأفضل توثيقا في التاريخ وكانت فاتحة لفرصة فريدة لنتعلم كيف نتجنب مثل هذه الكوارث في المستقبل. فمن تصوير المياه الموحلة المغرقة للفنادق على شاطئ البحر بوساطة كاميرات الڤيديو المنزلية إلى قياسات الأقمار الصنعية (السواتل) للأمواج المنتشرة على امتداد المحيط المفتوح، أمكن نتيجة لهذا التدفق الكبير من المعلومات إعادة صياغة ما يعرفه العلماء عن الموجة التسونامية بطرق متعددة.

شيء واحد، وهو المنشأ المحير للموجة التسونامية ـ التي اندلعت من مكان كان

(*) TSUNAMI: WAVE OF CHANGE

(1) انظر: «تهديدات الزلازل الصامتة»، العلوم، العددان 7/6 (2004)، ص 42.



يعتقد أن تولُّد الأمواج العملاقة فيه قليل الاحتمال ـ قد أقنع الباحثين بتوسيع نطاق بحثهم ليتضمن مناطق خطرة محتملة. كما أمدتنا الأرصاد الجديدة بأول اختبار حاسم للمحاكاة الحاسوبية التي تتنبأ بأين سوف تضرب موجة تسونامية ومتى وكيف سيكون سلوكها على الشواطئ. والأكثر من ذلك أن هذه الحادثة كشفت بشكل استثنائي عن التعقيدات الدقيقة للهزة الأرضية وتأثيرها الكبير في حجم الموجة التسونامية وشكلها. وستعمل هذه النماذج التي تم تطويرها من هذه الاكتشافات، إلى جانب أنظمة المراقبة والتحذير الجديدة، على المساعدة على الحفاظ على الأرواح.

قبل الحدث الكبير[*]

منذ فترة طويلة، عرف الباحثون أن أسس تولد معظم الأمواج التسونامية الناجمة عن الهزات الأرضية سببها وجود مناطق فيها انزلاق لحافة صفيحة ما للقشرة الأرضية تحت حافة صفيحة أخرى[1]. هذه المناطق تميزها أخاديد ضخمة في قاع البحر، وتتشكل مثل هذه

(*) Before the Big One
(1) Subduction Zones

المناطق حين تنغمس إحدى الصفائح التكتونية الخارجية للقشرة الأرضية تحت صفيحة أخرى. تعمل قوى الجاذبية وحركة المادة اللزجة في عمق طبقة الدثار الأرضي على تحريك الصفائح بشكل دائم متفادية إحداها الأخرى، لكن الاحتكاك في القشرة السطحية الضحلة يعمل على ربط بعضها ببعض مؤقتا. ونتيجة لذلك يتزايد الإجهاد عبر السطح البيني الواسع أو الصدع بين الصفيحتين. وفي بعض الأحيان يُفرّغ هذا الإجهاد فجأة على شكل هزة أرضية كبيرة. وتغوص الصفيحة السفلية أكثر نحو الأسفل، دافعة الصفيحة العلوية بحركة خاطفة بعنف إلى أعلى ـ فتنطلق مياه البحر التي تعلوها للجريان بمحاذاتها من دون عوائق. إن حجم الموجة التسونامية الناجمة يعتمد على مدى تحرك قاع البحر. وحالما تتولد الموجة التسونامية فإنها تنقسم إلى جزأين: الأول يتحرك بسرعة باتجاه اليابسة، في حين يتجه الآخر باتجاه المحيط المفتوح.

في المحيط الهندي الشرقي، بعيدا عن الساحل الغربي لسومطرة (أندونيسيا)، تنزلق حافة الصفيحة الهندية أسفل حافة الصفيحة الأوروآسيوية بمحاذاة منطقة سومطرة. وفي الماضي أنتجت الأجزاء الجنوبية لمنطقة الصدع هزات أرضية كبيرة (قوتها 9 على مقياس ريختر)، كانت آخرها في عام 1833. لقد وجد <K> سييه» وزملاؤه [من معهد كاليفورنيا التقاني] أن الشعب المرجانية ارتفعت نتيجة لهذه الأحداث. وكان الخبراء يترقبون حدوث هزة أخرى كبيرة هناك.

وقد احتار هؤلاء الخبراء عندما تولدت الموجة التسونامية المسببة لحادثة الشهر 2004/12 في الجزء العلوي لهذه المنطقة، فقط إلى الشمال الغربي من سومطرة، حيث أوضحت التسجيلات السابقة حركة بطيئة جدا على طول الصدع بعيدا عن الشاطئ. ولذلك، لم يتضح أنه كان بالإمكان أن يتزايد الإجهاد بشكل كاف لينتج مثل هذا الاهتزاز العنيف. ومع ذلك كشف التحليل الأخير أن هزة بقوة 9 على مقياس ريختر رفعت قاع البحر بامتداد 1200 كم بمقدار وصل إلى ثمانية أمتار في بعض المناطق، محررة مساحة في منطقة الصدع تعادل مساحة ولاية كاليفورنيا، ومزيحة بذلك مئات الكيلومترات المكعبة من ماء البحر فوق المستوى الطبيعي للبحر. ونتيجة لذلك، يتوقع الباحثون الآن تهديدات إضافية محتملة لموجة تسونامية قرب ألاسكا وبورتوريكو ومناطق مشابهة في منطقة دخول حافة صفيحة تحت حافة صفيحة أخرى (Subduction Zones) (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*).

بدأت هزة سومطرة-أندامان عند الساعة 7:59 قبل الظهر بالتوقيت المحلي، وأنذرت شبكات الاتصالات العالمية للمراكز الزلزالية مباشرة مركز التحذير الباسيفيكي للتسونامي في شاطئ أيوا بجزيرة هاواي. وعلى الرغم من أن علماء الجيوفيزياء هناك كانوا من الأوائل الذين علموا بالهزة الأرضية من خارج المنطقة، فإنه لم يكن لديهم أية وسيلة لإثبات أن الموجة التسونامية المدمّرة تتدفق على امتداد المحيط الهندي حتى تلقّيهم نشرة الأخبار الأولى عن استفحال الكارثة.

في المحيط الهادئ (الباسيفيكي)، حيث تحدث 85 في المئة من الأمواج التسونامية في العالم، يمكن لأجهزة الاستشعار عن بعد[1] الموجودة هناك، والتي تعرف بأجهزة قياس التسونامي، اكتشاف أمواج تسونامية بعيدا عن الشاطئ وتحذير علماء المركز الباسيفيكي وأولئك العلماء في المركز الثاني في بالمر بولاية ألاسكا قبل أن تصطدم الأمواج باليابسة [انظر: «*تسونامي!*»، **العلوم**، العددان 9/8 (1999)، ص 4]. ولكن هذه التقنية لم توجد في المحيط الهندي، ولم توجد خطوط اتصالات لنقل التحذير إلى الناس على الشاطئ. وعلى الرغم من أن الأمواج الأولى استغرقت نحو ساعتين أو أكثر للوصول إلى تايلند وسيريلانكا ومناطق أخرى وضربها بقوة شديدة، فإن الجميع تقريبا أصابتهم الدهشة.

في المحيط المفتوح(**)

ما حدث في ذاك اليوم من الشهر 12 غيّر وإلى الأبد إدراك العالم مدى الضرر البالغ الذي يمكن أن تسببه الأمواج التسونامية، أين يمكنها أن تضرب، وكم هي كثيرة المجتمعات التي تفتقر إلى الحماية التامة. ومنذ ذلك الحين تدافعت مجموعات عالمية لتصحيح الوضع (*انظر الإطار في الصفحة 40*). وفي الوقت نفسه يقوم الباحثون بالفحص الدقيق للدلائل والمؤشرات التي خلّفتها هذه الكارثة لتفعيل فهمهم عن كيفية نشوء موجة تسونامية وكيفية انتشارها وضربها الشواطئ بعدئذ ـ للقيام بتحذير أفضل عن حادثة قادمة.

خلال خمس عشرة سنة، طوّر الباحثون في اليابان والولايات المتحدة نماذج حاسوبية تحاكي انتشار الأمواج التسونامية خلال المحيط المفتوح. ومن ناحية أخرى، كان عند

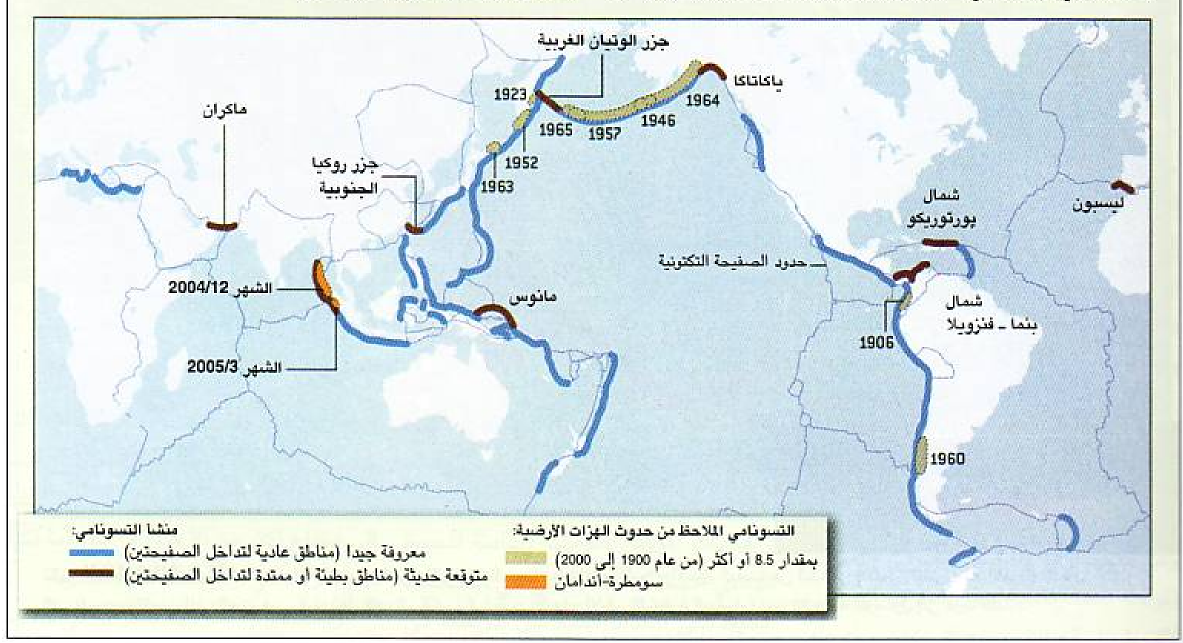
نظرة إجمالية/ تنبؤات مستقبلية(*)

- في أعقاب كارثة الشهر 2004/12 للتسونامي في المحيط الهندي، أدى التدفق الهائل للمعلومات حول الحادثة إلى إعادة صقل فهمنا لمثل هذه الأمواج المرعبة.
- من المعلومات الجديدة، تعلم العلماء كيف يقومون بتنبؤ أفضل عن البقاع التي يمكن أن تنتج موجة تسونامية وأين ستذهب هذه الموجة وإلى أي مدى ستطفو على اليابسة.
- سوف تعمل النماذج الحاسوبية المطورة مع أنظمة التحذير والمراقبة الجديدة على المساعدة على إنقاذ الأرواح.

(*) Overview / Future Forecasts
(**) In the Open Ocean
(1) Remote Sensors

إعادة التفكير في مصادر تسونامي(*)

حدثت الأمواج التسونامية الأكثر حدة المتولّدة من الهزات الأرضية في القرن الماضي (*الأشكال البيضاوية القصديرية اللون*). حيثما تلاقت صفيحتان تكتونيتان بشكل جبهي فيما يعرف بمناطق subduction zones، حيث حافة صفيحة تكتونية تنزلق تحت حافة صفيحة أخرى (*الخطوط الزرقاء*). تندفع إحدى الصفيحتين فوق الأخرى، رافعة الأمواج التسونامية معها. ولكن جزءا من الصدع سومطرة-أندرامان، حيث نشأت كارثة المحيط الهندي، لم يكن له أي تسجيل عن هزة أكبر من 8 على مقياس ريختر. وعندما ضربت هزة أرضية بقوة 9 على مقياس ريختر هناك في الشهر 2004/12، تبعتها بعد ثلاثة أشهر هزة أخرى وصلت حتى 8.7 على مقياس ريختر (*الأشكال البيضاوية البرتقالية*)، بدأ العلماء بإعادة تقييم الصدوع المشابهة المتحركة ببطء لاحتمالية حدوث موجة تسونامية. ويمكن أن تؤخذ مساحات جديدة في الاعتبار (*الخطوط الحمراء*) بما فيها مناطق ذات معالم ضخمة على أرض البحر، حيث تشكل عائقا في منطقة التقاء الصفيحتين وبذلك تزيد الإجهاد على الصدع.



الباحثين من قبل قليل من الملاحظات للمقارنة بنظرياتهم. وتتطلب جميع النماذج الحاسوبية لانتشار الأمواج التسونامية متغيرين أساسيين للبدء بهما وهما: تقدير موقع ومساحة قاع البحر المشوهة التي يعتمد الباحثون عليها لمعرفة قوة الهزة الأرضية ومركز الزلزال السطحي، وقياس ارتفاع أو سعة الماء المزاح. ويمكن استنتاج المتغير الأخير بكفاءةٍ لزومَ إجراء تنبؤات في الوقت الفعلي فقط وبعد عمل أرصاد مباشرة على الأمواج التسونامية في المحيط المفتوح.

ولكن بالنسبة إلى الأمواج التسونامية الأساسية التي حدثت في الماضي، فقد توافرت للعلماء القياسات التي سجلتها أجهزة قياس المد والجزر قرب الشاطئ أو تلك القياسات التي قدرها المسّاحون من الدمار الذي يسببه الماء على اليابسة. والمشكلة الأساسية تكمن قرب الشاطئ، حيث لا يظهر الحجم الفعلي للموجة التسونامية، وذلك بسبب الأمواج الإضافية المتولّدة من ارتدادات الأمواج التسونامية على الحواجز البحرية أو الالتفاف حول الجزر أو حركة الماء ذهابا وإيابا في الخليج ـ كل هذا يشكل مؤشرا بالغ التعقيد.

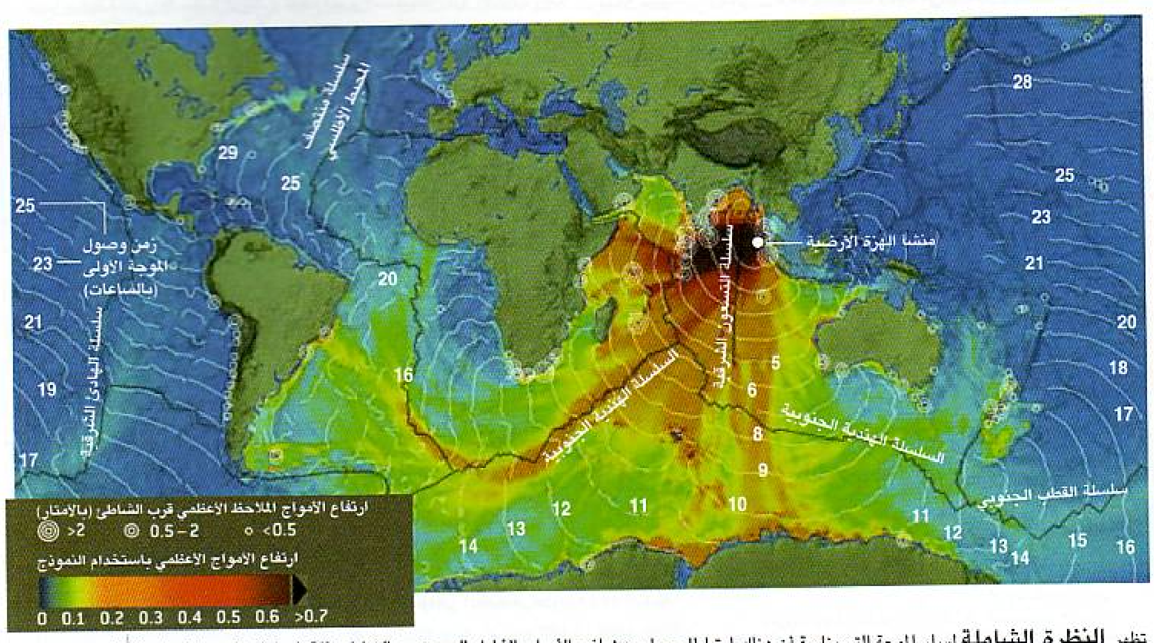
وبمحض المصادفة، أعطت الأقمار الصنعية الثلاثية المخصصة لمراقبة الأرض علماء النمذجة قياسات لارتفاعات الأمواج الأصلية وغير المشوهة واللازمة من أجل نمذجة الموجة التسونامية في المحيط الهندي. وقد حدث أن كانت الأقمار الصنعية تدور فوق المنطقة من ساعتين إلى تسع ساعات بعد الهزة الأرضية، آخذة القياسات الرادارية الأولى للأمواج التسونامية المنتشرة على امتداد المحيط المفتوح. وأثبتت النتائج لأول مرة ـ وكما جرى توقعه ـ أن تدفق الماء بارتفاع نصف متر فقط في المحيط المفتوح يمكن أن يتحول فعلا إلى أمواج عاتية تسبب دمارا كبيرا على اليابسة.

أيضا أعطت الأقمار الصنعية التي تدور حول الأرض بسرعة نحو 5.8 كيلومتر بالثانية أول مقطع عرضي للتذبذب في ارتفاعات الأمواج التسونامية، بعد مراقبتها للأمواج بشكل مستمر على طول مسارها وليس عن طريق إجراء القياسات في نقطة محددة فقط، كما هي الحال بالنسبة إلى أجهزة قياس المد والجزر. وكما تبين فإن ارتفاعات الأمواج المقاسة والمنمذجة توافق بعضها مع بعض بشكل جيد تماما (*انظر الإطار في الصفحة 38*) محققة بذلك النظريات العامة حول كيفية تحرك الأمواج التسونامية عبر المحيط المفتوح ـ ومؤكدة أن النماذج المصاغة حاليا هي أدوات فعّالة من أجل السلامة العامة حتى مع حدوث أكبر موجة تسونامية.

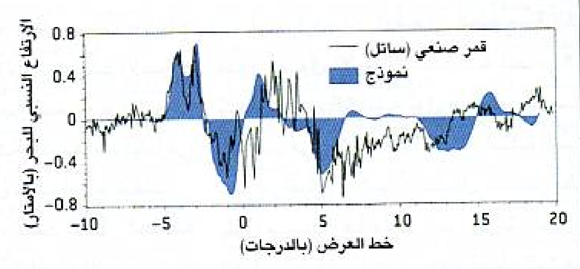
(*) Rethinking Tsunami Origins

التنبؤ بسلوك موجة تسونامية(*)

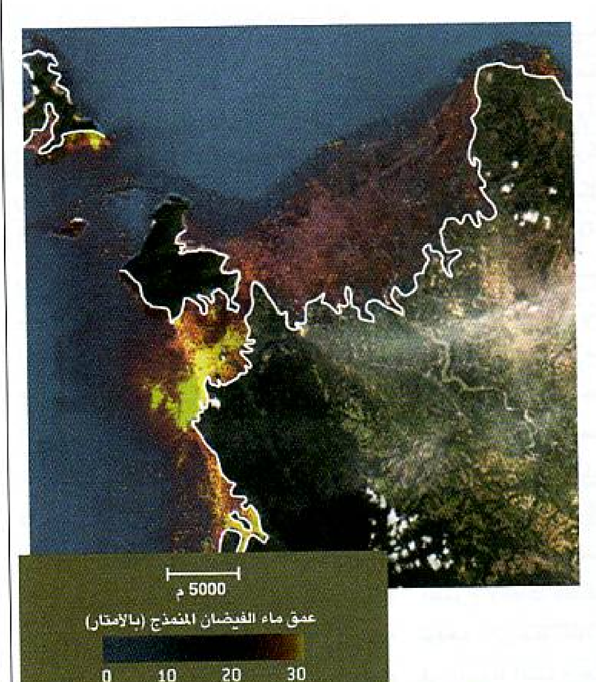
أكدت المشاهدات والملاحظات للموجة التسونامية في الشهر 2004/12 فهم العلماء الأساسي لثلاثة مظاهر مهمة لسلوك موجة تسونامية: كيف تنتشر حوادث كبيرة حول العالم، وكيف تبدو الأمواج في المحيط المفتوح، وإلى أي بُعْد تستطيع هذه الأمواج أن تصعد على اليابسة. وكل صورة تقارن القياسات المباشرة مع القيم المحسوبة بوساطة نموذج تنبؤ التسونامي الرائد للولايات المتحدة، والذي يدعى طريقة انقسام تسونامي (أو MOST).



تظهر **النظرة الشاملة** لمسار الموجة التسونامية أن هناك ارتباطا جيدا بين نماذج الأمواج الأطول البعيدة عن الشاطئ (*الألوان المثيرة*) مع الأمواج الأطول التي قيست بمقاييس المد والجزر قرب السواحل (*الدوائر الكبرى*). أخذت الأمواج الأولى (*الخطوط البيضاء*) نحو 30 ساعة للوصول إلى غرب كندا.



ارتفاعات الأمواج في المحيط المفتوح ـ المقاسة بوساطة القمر الصنعي (الساتل) جيسون بتدفقها في المحيط الهندي بعد ساعتين من الهزة الأرضية التي سببتها الموجة التسونامية (*الخطوط السوداء*) ـ تتوافق مع حسابات النموذج (*المساحات الزرقاء*) أكثر مما هو متوقع. تمثل القمم ذُرا الموجة، وتمثل الانخفاضات انحدارات الأمواج.



وصلت **مياه الفيضانات للموجة التسونامية** في بعض المناطق شمال مقاطعة سومطرة أكيه الشمالية إلى ارتفاع ثلاثين مترا وتغلغلت حتى 4.5 كيلومتر من اليابسة. ومرة أخرى، توافق النموذج المتوقع للفيضان المحتمل (*اللون العلوي*) بشكل جيد مع القياسات الميدانية ومع صور الأقمار الصنعية لهذه الحادثة (مناطق تجاه البحر من *الخط الأبيض*)

Predicting Tsunami Behavior (*)

حدود الانتشار حول العالم(*)

إن المنظور الشامل لتسونامي يعضد فعالية هذه النماذج من أجل التنبؤ. وحيث إن الموجة التسونامية تتحرك في عرض المحيط بسرعة مقاربة لسرعة الطائرة النفاثة (نحو 500 إلى 1000 كيلومتر في الساعة)، فإن الموجة الأولى لها استغرقت أقل من ثلاث ساعات لتنتقل شرقا من سومطرة الشمالية وجزر أندامان إلى مانيمار (بورما) وتايلند وماليزيا، وغربا إلى سيريلانكا والهند وجزر المالديف. وبعد إحدى عشرة ساعة ضربت الشاطئ الإفريقي الجنوبي على بعد 8000 كيلومتر، وهي أبعد نقطة سُجِّلت فيها حادثة وفاة واحدة من جراء موجة تسونامية.

ولكن الأمواج لم تتوقف هناك، وفي الوقت نفسه الذي تصدرت فيه الكارثة الأخبار، بدأ العلماء بأخذ التسجيلات من محطات قياس المد والجزر حول العالم. وفي مسارها باتجاه الغرب، انعطفت الموجة التسونامية حول الطرف الجنوبي لإفريقيا، ثم انقسمت إلى قسمين عند انفصالها باتجاه الشمال في المحيط الأطلسي(1): القسم الأول اتجه نحو البرازيل والقسم الآخر اتجه نحو نوفاسكوتيا. وفي مسارها باتجاه الشرق، تسارعت الموجة التسونامية خلال الفتحة بين أستراليا والقارة القطبية الجنوبية وتوغلت في المحيط الهادئ إلى حد بعيد باتجاه الشمال حتى كندا. فمنذ ثوران بركان كراكاتو في عام 1883 لم تعرف أية موجة تسونامية من النوع الذي يقطع مثل هذا البعد وهذه المسافات.

عندما تم رسم المسار الكامل لموجة تسونامية على المحاكي الحاسوبي المتطور لإدارة المحيطات والأرصاد الجوية الوطنية، والذي يدعى MOST (اختصارا لطريقة انقسام تسونامي Method of Splitting Tsunami)، تطابقت ارتفاعات الأمواج المحاكية بشكل تام مع القياسات عند محطات قياس المد والجزر المختلفة.



السكة الحديدية المفتولة قرب مجمع سينكم في الساحل الجنوبي الغربي في سيريلانكا، حيث أخرجت موجة تسونامية في الشهر 2004/12 قطارا للركاب من ثماني عربات عن القضبان مسببة قتل نحو 1500 شخص.

وأكثر من ذلك، ما كشفه النموذج عن كيفية تمكن الموجة التسونامية من الانتقال لهذه المسافة البعيدة. وأظهرت خريطة ارتفاعات الموجة المحاكية لحادثة المحيط الهندي أنها كانت الأعلى في منتصف المحيط على امتداد السلاسل المرتفعة في قاعه. هذه السلاسل المرتفعة، التي تربط بين أحد الأحواض في المحيط والحوض المجاور، تبدو وكأنها توجه طاقة الموجة أبعد عما يمكن أن تنتقل إليه. ومعرفة هذا التأثير يكون مهما من أجل التنبؤ، لأنه يُمكن لخبراء النمذجة أن يخمنوا بشكل أفضل المكان الأكثر احتمالا لأن تذهب إليه الموجة الأقوى في طاقتها.

الآثار المباشرة للكارثة(**)

إن التحدي الأكبر هو التنبؤ بكيفية سلوك موجة تسونامية حالما تغمر الشاطئ. وكما يحدث دائما في الأمواج التسونامية، فإن أمواج حادثة الشهر 12 تباطأت تدريجيا بدخولها المياه الضحلة. ومع استمرار تتابع وصول الأمواج إلى الشاطئ، فإن المسافة بين قمم الأمواج، والتي كانت تقدر بمئات الكيلومترات في المحيط المفتوح، انخفضت إلى ما بين 15 و 20 كيلومترا. ولكن مع وجود الماء الجارف الذي ظل يدفع من الخلف، فإن قمم الأمواج أخذت تعلو وتعلو أكثر حتى وصلت إلى ارتفاع أكثر من 30 مترا في مقاطعة أكيه بسومطرة، وهي أول منطقة تلقت الضربة.

وباستمرار تحركها بسرعة في حدود 30 إلى 40 كيلومترا في الساعة، فإن الأمواج اجتازت اليابسة لمسافة أكثر من أربعة كيلومترات في أجزاء من مدينة أكيه باندا (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*). وانحسرت الأمواج بالعنف نفسه، حاملة ولمسافة بعيدة في البحر أي شيء أخذته في طريقها عندما كانت متجهة نحو اليابسة. ضربت الأمواج السواحل على طول حافة الشاطئ المغمور بشكل استمر لساعات. وخلال ثلاثين دقيقة أو أكثر بين تواتر القمم الموجية، عاد لسوء الحظ عدد من الناس إلى السواحل ليتعرضوا لهجمات الأمواج المتلاحقة. إن محصلة الدمار الذي لحق بالبيئة الطبيعية كانت ضخمة جدا إلى الحد الذي مكن رواد الفضاء من مشاهدته، كما كان الدمار

(*) Global Reach

(**) Immediate Aftermath

(1) انظر: «*أمواج تسونامية: أخطار في المحيط الأطلسي وفي البحر الأبيض المتوسط*»، **العلوم**، العددان 2/1 (2005)، ص 2.

تحذيرات للمستقبل(*)

قبل حادثة الشهر 2004/12، لم يكن في المحيط الهندي نظام تحذير لتسونامي. ومنذ ذلك الحين، تسابقت عدة مجموعات عالمية بمساعدة هيئة اليونسكو لوكالة علم المحيطات للتعاون بين الحكومات، لحل هذه المشكلة. وللوصول إلى إمكانية المراقبة التي تتوافر حاليا في المحيط الهادئ، يحتاج المحيط الهندي إلى ثلاثة مركبات تقنية تصلح للأحواض الواسعة، وهي: محطة زلازل متطورة لتحديد مكان الهزة الأرضية الكبيرة، وعلى الأقل خمسة أجهزة قياس للتسونامي (*في اليسار*) لتتبع الأمواج التسونامية عند انتقالها على امتداد المحيط المفتوح [على الرغم من أنه يحتاج إلى 13 من هذه الأجهزة لتتبع موجة تسونامية في أقل من ثلاثين دقيقة] وشبكة قرب الشاطئ لأجهزة قياس المد والجزر حال حدوثها.

في السنة الماضية (2005) اتُّخذت خطوات مهمة، تم إنشاء شبكتي زلازل ـ إحداهما جديدة بشكل كامل ـ ترسلان الآن تقارير بشكل تلقائي إلى المراكز الزلزالية القومية في أندونيسيا وماليزيا، والأخرى ستكون بياناتها متاحة على وجه السرعة للمنطقة بكاملها. تم تحديث أربعة أجهزة قياس للمد والجزر من أجل مراقبة التسونامي، بما فيها واحدة قرب أندونيسيا، وهي تقع بالقرب من الصدوع المولِّدة للأمواج التسونامية الرئيسية. إن أكثر من 20 منشأة إضافية وتحسينات جرى جدولتها لتنفيذها في الأشهر القادمة.

إنه من غير الواضح كيف ومتى يمكن حيازة أجهزة قياس الأمواج التسونامية اللازمة، ويجب التغلب على التحديات السياسية بين دول معينة قبل أن تُستكمل شبكة الزلازل. ولكن موظفي اليونسكو مازالوا متفائلين. فإذا جرى كل شيء بشكل جيد، فإن نظام المراقبة الأساسي سيبدأ العمل في الشهر 7، ويجب أن تدمج النماذج الحاسوبية هذه القياسات لتؤدي برامجها إلى تحذيرات دقيقة.

حالما تصبح التحذيرات متاحة، يجب أن تذاع على الناس على السواحل، فالموجة الأولى لن تصل قبل ساعتين أو أكثر. وعلى معظم ساحل المحيط الهندي بطول 000 66 كيلومتر ـ وهذا وقت كاف لمعظم الناس للتحرك داخل اليابسة بعد سماع صوت التحذير. أما في بعض الأمكنة التي تضربها الأمواج التسونامية خلال ساعة أو أقل، فإن التحذير قد يأتي متأخرا جدا. وعوضا عن ذلك يجب على المواطنين أن يتنبهوا للمؤشرات الطبيعية ـ مثل الهزات الأرضية العنيفة وانحسار المحيط، ويكاد جميعها يسبق الفيضان.

ومن الضرورة في كلتا الحالتين، الإخلاء السريع إلى مناطق آمنة معروفة سلفا. وقد أجرى المسؤولون المحليون تدريبات في بعض أجزاء من تايلند وسيريلانكا وأندونيسيا التي ضُربت بقوة في عام 2004.

<V.V.T. – E.L.G. – C.E.S.>

يظهر مقياس تسونامي جهاز ضغط على قاع البحر الذي يرسل إشارة صوتية إلى عوامة على السطح عندما يتحسس مرور موجة تسونامية. عندئذ تتابع العوامة التحذير وتبثه عن طريق الأقمار الصنعية (السواتل) إلى المسؤولين عن إطلاق التحذير.

أيضا متغيرا إلى حد كبير.

وكيف يمكن للنماذج التنبؤ بمثل هذه التغيرات بصورة واقعية مع الأخذ في الاعتبار العوامل الكثيرة المتضمنة؟ حتى بداية التسعينات وبسبب التعقيدات الحاسوبية التي لم تجد حلا حينذاك، لدرجة أن أفضل المحاكيات الحاسوبية انتهت حساباتها عند حافة الماء أو بالكاد قرب الشاطئ. استخدم الباحثون الارتفاع الأخير لتقدير مدى الغمر على اليابسة الذي يمكن لموجة تسونامية أن تقوم به. ولكن المسح الأولي الدقيق لكارثة التسونامي أثبت أن التخمينات كانت بعيدة عن الواقع تماما؛ أما بالنسبة إلى الموجة التسونامية التي ضربت نيكاراغوا في عام 1992، فلقد أجرى العلماء للمرة الأولى القياسات الميدانية الشاملة للمقارنة بالقيم المتوقعة من النموذج. ولكن مستويات الفيضان الحقيقية كانت في بعض المناطق قد وصلت إلى عشرة أضعاف في العلو أكثر من القيم المتوقعة من النماذج.

ومن ثم نشأ نوع من التسابق بين خبراء النمذجة اليابانيين والأمريكيين ساعين لوصف الغمر بشكل أكثر دقة، وذلك عن طريق حساب التطور الكامل لموجة تسونامية على اليابسة. ومن خلال الجمع بين التجارب المختبرية على مقياس واسع والقياسات الميدانية للأمواج التسونامية المتتابعة، قام الباحثون بتدقيق نموذج TSUNAMH-N2 الياباني ونموذج U.S. MOST الأمريكي حتى تمكنوا من مطابقة تشكيلات المناطق المغمورة لمعظم الأمواج التسونامية الماضية بشكل جيد، وهذا يمكن تحقيقه مادامت البيانات ذات الدقة العالية المتعلقة بالمعالم الطوبوغرافية للساحل وعلى بعد من الشاطئ متوافرة. ومع ذلك، لم يعلم الباحثون أن هذه النماذج صالحة للعمل في تحليل الأمواج التسونامية الأكبر. وكما تبين فلقد طابقت هذه النماذج فيضان المحيط الهندي بشكل أفضل مما كان متوقعا، على الرغم من النقص النسبي لمعالم طبيعة الأرض على الشاطئ.

لوحظ سريعا من عمليات المسح بعد الموجة التسونامية في أندونيسيا ومناطق أخرى أن تنبؤات مدى عمق مياه الفيضان وحده لا يمكن أن تُعطي التأثير

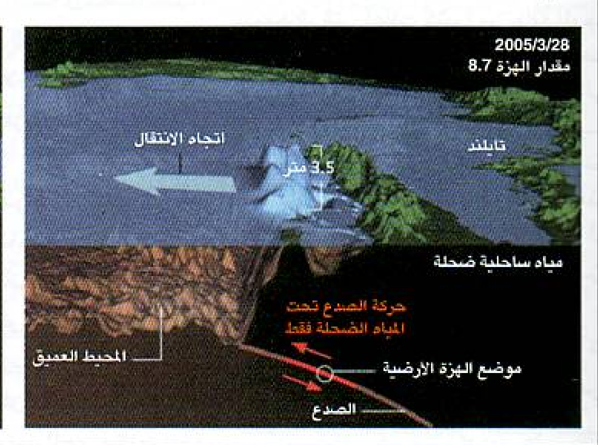
(*) Warning for the Future

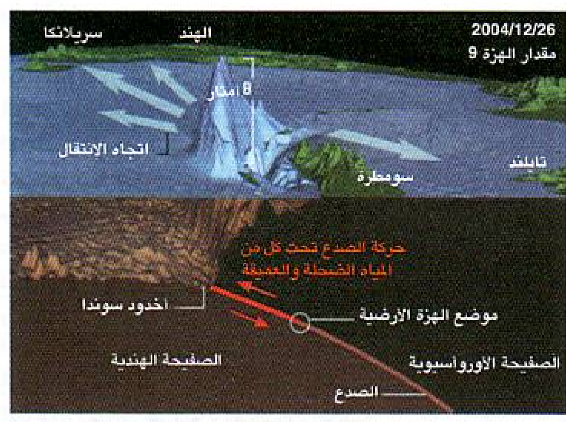
اختلافات مذهلة(*)

في 2005/3/28، وبعد ثلاثة أشهر على الهزة الأرضية المولدة للموجة التسونامية في الشهر 2004/12، ضربت الصدع نفسه هزة أرضية ثانية كبيرة. الأمواج الأولية التي ولدتها الهزتان كانت ثمانية أمتار في الشهر 2004/12 و 3.5 متر في الشهر 2005/3، جرى تكبيرهما من أجل المقارنة في الشكلين الموضحين في الأسفل. ومن خلال الدراسات المفصلة، كشف الباحثون عن أربعة أسباب أساسية لهذا التباين غير المتوقع.

أولا، أطلقت هزة الشهر 2005/3 نسبة من الطاقة مقدارها 1/15 من الطاقة التي أطلقتها سابقتها (كان مقدار الهزة 8.7، أما مقدار هزة الشهر 12 فكان 9).

ثانيا ضربت على طول الجزء الأعمق من الصدع (الأحمر)، لذلك حدّت من كمية الطاقة المنطلقة باتجاه الأعلى خلال طبقات المياه التي تعلوها. ثالثا، حدثت تحت مياه ضحلة، وبذلك رفعت حجما أقل من الماء. أما في الشهر 2004/12 فتشكل جزء من الموجة التسونامية فوق أخدود سوندا العميق. وأخيرا، ضربت مسافة تقدر بنحو 100 كيلومتر أبعد إلى الجنوب، وبذلك فإن أمواجها المتجهة إلى الشرق ضربت سومطرة التي حمت بدورها تايلند وماليزيا، وأمواجها المتجهة نحو الغرب اتجهت نحو البحر؛ أما في الشهر 2004/12 فضربت كلتا الموجتين الشرقية والغربية الكتل الأرضية القريبة.





الكامل لموجة تسونامية. وفي عدة أمكنة محلية من تايلند وسيريلانكا كان عمق موجة التسونامي على الأرض أقل من 4.5 متر، ومع ذلك كان الدمار يضاهي الدمار في أكيه، حيث كان عمق الماء أكثر بنحو ستة أضعاف. والحقيقة المُرّة الأخرى كانت في باندا أكيه، حيث حطمت الأمواج المنشآت الخرسانية المسلحة، كتلة بعد أخرى، والتي من المحتمل أن تكون قد قاومت الهزات الناجمة عن الزلازل.

ولتحديد مقدار الحطام، ابتكر العالم ‹أحمد يالسنر› [من جامعة الشرق الأوسط التقنية في أنقرة، تركيا] وواحد منا (سينووليكس) أنظمة جديدة بالمقياس المتري لتحديد الدمار – وهي أنظمة يستطيع أن يستخدمها مهندسو البحرية لتخمين قوة الأمواج التسونامية على المنشآت، والتي تأخذ بعين الاعتبار التيارات القوية، وهي أقوى في فيضانات الموجة التسونامية منها في تيارات المد والجزر العادية وأمواج العواصف.

مفاجآت مقلقة(**)

اللغز العلمي الكبير القابل للمناقشة والمتعلق بالموجة التسونامية في المحيط الهندي هو الهزة الأرضية نفسها. حتى قوة الهزة الأرضية لاتزال في طور النقاش والجدل مع بعض التقديرات التي تصل إلى الدرجة 9.3 على مقياس ريختر. وعلى الرغم من أن هذه الهزة الزلزالية كانت الأكبر منذ هزة ألاسكا في عام 1964، فقد يكون ثمة تحدٍّ لوصف كيف يُحدِث صدع سومطرة-أندامان تلك الموجة التسونامية الضخمة.

وبأي معيار كان، فقد اعتبرت هذه الهزة الأرضية معقدة بشكل هائل. وبالتحديد يكون انزلاق الصدع هو الأكبر قرب مصدره منذ البداية، ومع ذلك في بعض الحالات يبدأ انكسار الصدع بالانزلاق بمعدلات صغيرة، موحيا أن الهزة الأرضية قد تكون صغيرة، ثم يضرب الجزء الضعيف أو الجزء الشديد الإجهاد من الصدع والذي يجعله مخلخلا بشكل عنيف، مسببا بذلك هزات أرضية وأمواج تسونامية أكبر، وهذا ما حدث في الموجة التسونامية لعام 2004. إن تحليل مثل هذه الحالات في الوقت المناسب يشكل تحديا كبيرا لعمل التحذير المفيد.

وضعت نماذج التنبؤ بموجة تسونامية التابعة لإدارة المحيط والأرصاد الجوية الوطنية (NOAA)[1] في المحك من أجل هذه الأحداث المربكة. إن تحليل النموذج بالاعتماد على المعلومات الزلزالية فقط يؤدي إلى تقدير أقل عشرات المرات أو أكثر لارتفاعات الموجة التسونامية في المحيط المفتوح. لكن بإضافة نتائج القياس الأولي المباشر لارتفاع الموجة التسونامية، والتي وصلت للعلماء من محطة قياس المد والجزر في جزيرة كوكوس بعد حدوث الهزة الأرضية بنحو ثلاث ساعات ونصف، تحسّنت النتائج بشكل كبير، ولكن ما زال هناك شيء غير معروف.

وبعد أيام على حدوث الهزة الأرضية، أشارت تحليلات الأمواج الزلزالية القوية إلى أن انكسار الصدع المبدئي تسرّع باتجاه

(*) Shocking Differences
(**) Shaking Surprises
(1) National Oceanic and Atmospheric Administration

الشمال من سومطرة بسرعة 2.5 كيلومتر في الثانية. وحددت هذه التحليلات مساحات الانزلاق الأكبر، ومن ثم تَولُّد أكبر الأمواج التسونامية. وكانت المشكلة التي واجهت خبراء نمذجة الموجة التسونامية هي أن أيا من هذه الحلول الزلزالية لا يتضمن حركة الصدع الكلية بشكل كاف لكي تطابق أرصاد الأقمار الصنعية لارتفاعات الموجة في المحيط المفتوح أو الفيضان الخطير في باندا أكيه.

أتى مفتاح الحل الحاسم من المحطات الأرضية التي تستخدم نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)[1] لتتبع التحركات الأرضية الأكثر بطئا مما تنتجه الأمواج الزلزالية. كشفت هذه القياسات أن الصدع استمر بالانزلاق، ولو بشكل بطيء، بعد أن توقف عن إصدار الطاقة الزلزالية. وعلى الرغم من ذلك فإن هناك حدا لمدى بطء انزلاق الصدع واستمرارية توليده لموجة تسونامية. ومن المرجح كثيرا أن هذه الظاهرة التي لا يلتفت إليها في الغالب، وتدعى ظاهرة ما بعد الانزلاق، يعزى إليها ارتفاعات الموجة التسونامية المفاجئة. إذا كان الأمر كذلك، فإن الإلمام بالقراءات المستمرة للنظام GPS يمكن أن يشكل العنصر المهم لأنظمة التحذير من الموجة التسونامية في المستقبل.

تضرب أو تخطئ[*]

من الواضح أن عوامل معينة في أية هزة أرضية تؤثر ضمن حدود مخيفة في الأمواج التسونامية. ومما يؤكد هذه النقطة أن كوكب الأرض أنتج اهتزازا هائلا على امتداد الصدع نفسه في 2005/3/28. وحدث الانكسار المبدئي على مسافة مساوية من شاطئ سومطرة، ويفترض أنه على العمق نفسه تحت أرض البحر مثلما حدث في هزة الشهر 2004/12. وكلتا الهزتين كانت ضمن أقوى 10 هزات أرضية مسجلة منذ عام 1900، ومازالتا تولّدان أمواجا تسونامية مختلفة بصورة أساسية.

وبمشاهدتهم ظهور هزة الشهر 2005/3 بشكل فجائي على شاشاتهم الحاسوبية، بمقدار 8.7 على مقياس ريختر، توقع العلماء في مركز التحذير الباسيفيكي للتسونامي وأمكنة أخرى حدوث الأسوأ. وبالفعل حدث دمار شديد الخطورة من اهتزاز الأرض العنيف ولكن بدون تقارير فورية عن الدمار الناتج من موجة تسونامية. وعندما مسح الفريق العالمي [بمن فيهم واحد منا (تيتوف)] المنطقة بعد نحو أسبوعين، وجدوا أن ارتفاعات الموجة التسونامية وصلت أربعة أمتار، ولا تزال في جوهرها مميتة. وذكر بعض الأندونيسيين أنهم تعلموا من خبرتهم الأولية وركضوا باتجاه اليابسة بعيدا عن الساحل عندما اهتزت الأرض. وكان الإخلاء الأفضل هو السبب الوحيد في التخفيف من الخسائر البشرية في تسونامي الشهر 3.

أوحى تحليل الهزات الارتدادية في هزة الشهر 2004/12 للباحث <A. نيومان> [من معهد جورجيا التقاني] وللباحثة <S. بليك> [من معهد مكسيكو التقاني للمناجم] أن الصدع قد انزاح قرب الأخدود العميق في ذلك الوقت، وهكذا كان واقعا تحت مياه أكثر عمقا من الجزء الرئيسي للصدع الذي انزلق في الشهر 2005/3. ولذلك كانت للموجة التسونامية في الشهر 2004/12 فرصة أكبر لتزداد ارتفاعا خلال انتقالها من المياه العميقة إلى الشاطئ. إضافة إلى ذلك، وبشكل مخالف لتسونامي الشهر 2004/12 فإن حركة الصدع في الشهر 2005/3 حدثت تحت جزر نياس وسيمولو، وبذلك حدّت من كمية الماء التي كان يمكن أن تزيحها القشرة الأرضية عند ارتفاعها.

وأدى الفرق البسيط في ميل الصدع إلى تقدم أمواج تسونامية بوجه عام في اتجاهين مختلفين. فبالنسبة إلى هزة الشهر 2005/3، ضربت الأمواج المتجهة شرقا جزيرة سومطرة، التي أعاقت كثيرا من طاقة الموجة في التحرك باتجاه تايلند وماليزيا. واندفعت الأمواج المتجهة غربا إلى المحيط المفتوح إلى الجنوب الغربي متجاوزة بشكل كبير سيريلانكا والهند وجزر المالديف، التي عانت كلها بشكل مرعب في الشهر 2004/12. هذه الأمثلة توضح الأهمية الخطيرة لما يمكن أن تفعله تغيرات صغيرة في موقع الهزة الأرضية.

على الرغم مما يتبقى من شكوك علمية قد تظل على الدوام محيطة بمثل هذه الظاهرة المعقدة، فإن علم تسونامي الجديد أصبح جاهزا للتطبيق. والتحدي الأكبر لإنقاذ الأرواح هو تطبيق المنجزات العلمية في عمليات التعليم والتخطيط والتحذير المناسبة. ■

(*) Hit or Miss

(1) Global Positioning Systems

المؤلفون

Eric L. Gest - Vasily V. Titov - Synolakis

يمثلون تنوعا من الخبرات لدراسة الأمواج التسونامية. جيست باحث جيوفيزيائي من هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية في متنزّه منلو بكاليفورنيا. وقد استخدم المحاكيات الحاسوبية لدراسة كيفية تأثير التعقيدات المتأصلة بمناطق تداخل الصفائح في نشوء موجة تسونامية. وطوّر تيتوف في إدارة المحيطات والأرصاد الجوية الوطنية (NOAA) النموذج الحاسوبي الرئيسي للتنبؤ بالأمواج التسونامية. وهو أحد أكبر خبراء النمذجة لوكالة برنامج البحث عن تسونامي في سياتل، كما أنه أستاذ مساعد في جامعة واشنطن. وأما سينولاكيس فيقوم بإدارة مركز التسونامي لجامعة كاليفورنيا الجنوبية، وهو الذي أسس هذا المركز في عام 1995. ويتضمن عمله حاليا المسح الميداني لدمار التسونامي والنماذج المختبرية على مقياس واسع لأمواج تسونامية ومحاكيات حاسوبية للطوفان على طول السواحل المعرضة لتسونامي، بما في ذلك سواحل كاليفورنيا.

مراجع للاستزادة

Furious Earth: The Science and Nature of Earthquakes, Volcanoes, and Tsunamis. Ellen J. Prager. McGraw-Hill, 2000.

A companion article on land use and tsunamis, called "Echoes from the Past," is available at www.sciam.com

National Oceanic and Atmospheric Administration tsunami pages: www.tsunami.noaa.gov/

University of Southern California Tsunami Research Center: http://cwis.usc.edu/dept/tsunamis/2005/index.php

U.S. Geological Survey Tsunami and Earthquake Research: http://walrus.wr.usgs.gov/tsunami/

تتمة الصفحة 17 (العصر المنسي للشيپات الدماغية)

قبيل الخيال العلمي.

وفيما عدا هذه الومضات الإعلامية، لم تعد أعمال ‹دلگادو› تلقى المبالاة التي حظيت بها ذات يوم. ومع أنه استمر ينشر مقالات له، وبخاصة حول تأثيرات الإشعاع الكهرمغنطيسي على **المعرفية** cognition والسلوك والنمو الجنيني، فإن العديد منها لم يظهر إلا في المجلات الأسبانية. وفضلا على ذلك فإن دراسات التنبيه الدماغي التي سبق أن أجراها (دلگادو) في الولايات المتحدة غاصت في مستنقع النقاشات الأخلاقية ونضوب الهبات المالية وتحول الباحثين إلى تخصصات أخرى، لاسيما الفارماكولوجيا النفسية التي يبدو أنها طريقة أكثر أمانا وفعالية في معالجة اعتلالات الدماغ من التنبيه الدماغي أو الجراحة الدماغية. ولم تتجدد أبحاث الاغتراس الدماغي إلا في القرن العشرين، بعد أن استنهضتها الإنجازات المتقدمة في أصعدة الحوسبة والإلكترودات والإلكترونيات الميكروية وتقانات المسح الدماغي وفي التعرف المتنامي لحدود العقاقير في معالجة الأمراض العقلية.

يعتقد ‹دلگادو› (الذي توقف عن إجراء الأبحاث في أوائل التسعينات من القرن العشرين، ولكنه ما زال يتابع مجال التنبيه الدماغي) أن الباحثين الحاليين أخفقوا في سرد دراساته، ليس لكونها مثار خلاف، بل بسبب جهلهم فحسب. وبعد هذا كله، فإن قواعد البيانات الحالية لا تتضمن أبحاثا علمية نشرت في ريعان شبابه. لقد استثاره انتعاش البحث بخصوص التنبيه الدماغي مجددا، لأنه حتى الآن مؤمن بإمكاناته على تحريرنا من الاعتلالات المرضية النفسية ومن العدوانية الفطرية بداخلنا. وهو يقول: «أعتقد أننا في المستقبل القريب سوف نمد يد العون إلى العديد من البشر، وبخاصة عبر الطرائق **غير الباضعة** noninvesive.»

واجه خلفاء ‹دلگادو› بعضا من الأسئلة ذاتها التي واجهها ‹دلگادو› نفسه حول **إساءات الاستعمال** abuses الممكنة للتقانة العصبية. فبعض النقاد أعربوا عن قلقهم من أن الشيپات الدماغية قد تسمح لتحكم عضوي بأن يعبث بمكونات الدماغ، حسب قول ‹W. سافير› [الكاتب في صحيفة نيويورك تايمز]. ومؤخرا عكست افتتاحية في مجلة *Nature* قلقها من أن مسؤولين في وكالة مشاريع الأبحاث الدماغية المتقدمة (وهي ممول رئيسي لأبحاث الاغتراس الدماغي) قد درسوا بشكل علني اغتراس شيپات دماغية في الجنود لتحسين قدراتهم المعرفية. وفي غضون ذلك يجادل بعض المتحمسين التقانيين، من أمثال عالم الحاسوب البريطاني ‹K. وورْويك›، بأن مخاطر الشيپات الدماغية أقل بكثير من الفوائد المحتملة التي سوف تتضمن **تنزيل** down loading **لغات** أو مهارات جديدة بشكل فوري والتحكم اللحظي في الحواسيب وأجهزة أخرى عبر أفكارنا، كما تتضمن الاتصال بين شخص وآخر بالتخاطر البعيد.

هذا ويتنبأ ‹دلگادو› بأن التقانات العصبية قد لا تتقدم أبدا إلى الحد الذي يخشاه الناس أو يتمنونه. ويشير ‹دلگادو› إلى أن التطبيقات التي يتصورها ‹وارويك› وآخرون غيره تتطلب معرفة درجة التعقيد التي تتكون بها المعلومات في الدماغ، وهذا هدف بعيد التحقيق على علماء الأعصاب. وأكثر من ذلك، يتضمن تعلم الميكانيك الكمومي (أو لغة جديدة) «تغيير ارتباطات موجودة سلفا بشكل بطيء،» ويتابع ‹دلگادو› قائلا: «لا أظنك تستطيع فعل ذلك فجأة.» مضيفا إلى ذلك أن التنبيه الدماغي يستطيع فقط تحوير مهارات وقدرات يملكها المرء من قبل.

ولكن ‹دلگادو› ينظر بعين الريبة إلى اقتراح البيت الأبيض حول **الأخلاقيات الحيوية** Bioethics **وبعض** الأهداف العلمية، وبخاصة تلك التي تتضمن **تغيير الطبيعة** البشرية والتي لا يجوز حتى متابعتها. فهو يقول إنه من المؤكد أن التقانة «ذات وجهين: حسن وسيء،» ويجب علينا أن نفعل ما بوسعنا «لنتفادى عواقبها السيئة»، كما يجب أن نحاول منع إساءة استخدام التقانات المدمرة المحتملة من جانب الحكومات الاستبدادية بقصد اكتساب مزيد من القوة، أو من جانب الإرهابيين بقصد إحداث دمار. ولكن الطبيعة البشرية حسبما يؤكد ‹دلگادو› مرددًا ما جاء في أحد موضوعات الكتاب *«التحكم البدني»*، ليست راكدة بل دينامية؛ **بمعنى أنها تتغير باستمرار نتيجة للاستكشاف القسري للذات** compulsive self exploration. ويتساءل ‹دلگادو›: «هل يمكنكم تحاشي المعرفة؟» لن تتمكنوا! وهل يمكنكم تحاشي التقانة؟ لن تتمكنوا! فالأمور ستسير قُدُما إلى الأمام بصرف النظر عن المبادئ الأخلاقية، وذلك على الرغم من عقائدكم وعلى الرغم من كل شيء.» ■

المؤلف

John Horgan

هو رئيس مركز الكتابات العلمية في معهد التقانة في هوبوكن بولاية نيوجرسي. كان كاتبا خاصا في هيئة تحرير سيانتيفيك أمريكان ما بين عامي 1986 و 1997، وهو حاليا كاتب عام لصالح عدة جهات. ونذكر من كتبه: **نهاية العلم** The End of Science **والعقل غير المكتشف** The Undiscovered Mind **والصوفية المنطقية** Rational Mysticism.

مراجع للاستزادة

Brain Control: A Critical Examination of Brain Stimulation and Psychosurgery. Elliot S. Valenstein. John Wiley and Sons, 1973. (A contemporaneous scientific critique of the work of Delgado and other neuroscientists.)

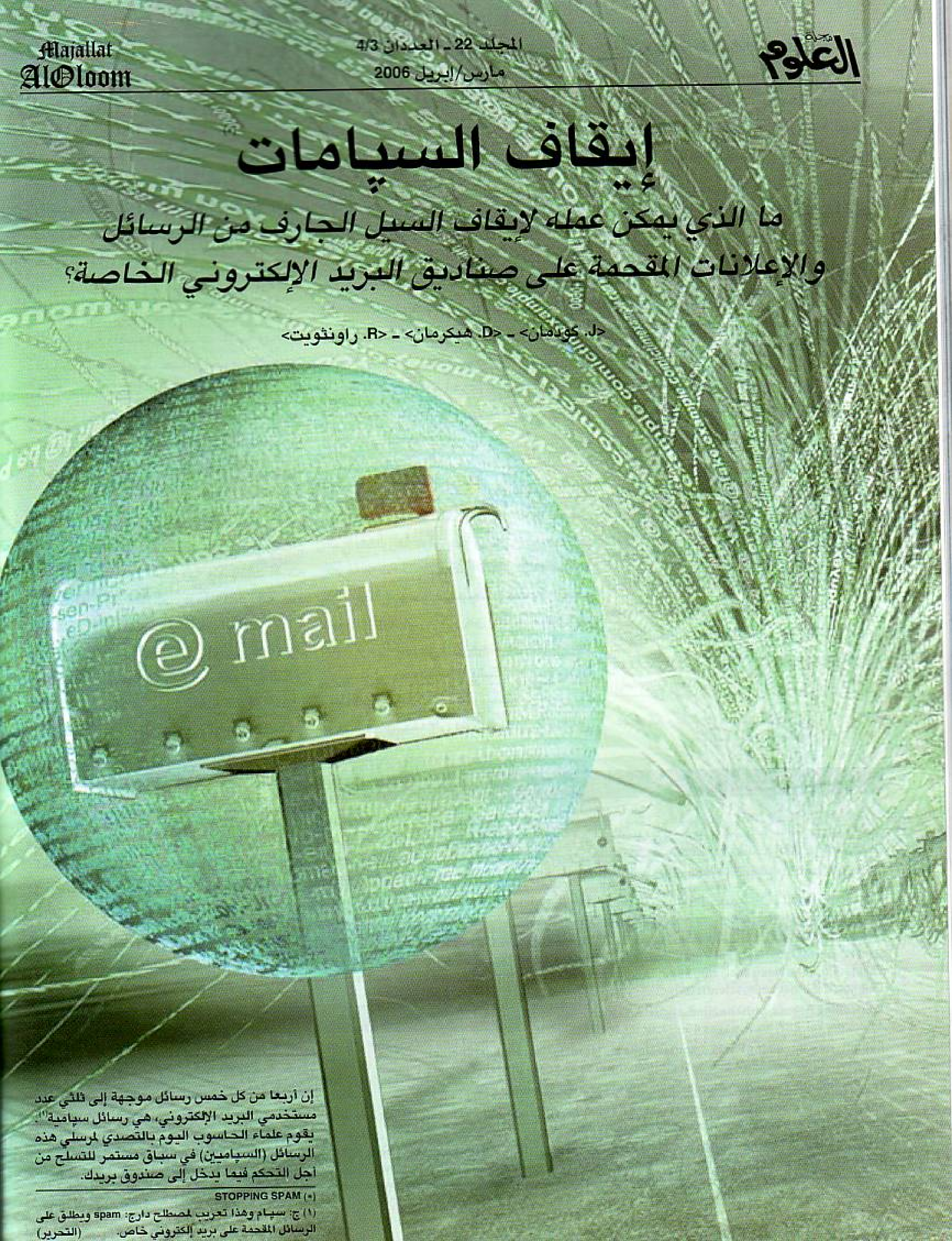
Controlling Robots with the Mind. Miguel A. L. Nicolelis and John K. Chapin in *Scientific American*, Vol. 287, No. 4, pages 46–53; October 2002.

Rebuilt: How Becoming Part Computer Made Me More Human. Michael Chorost. Houghton Mifflin, 2005. (A personal story on the pros and cons of brain implants.)

The President's Council on Bioethics Web site is at **www.bioethics.gov**

An overview of modern brain stimulation can be found at **www.bioethics.gov/transcripts/june04/session6.html**

Other Web sites extol the utopian possibilities of brain stimulation, **www.wireheading.com**, or deplore it as a government mind-control plot, **www.mindjustice.org/**



إيقاف السپامات(*)

ما الذي يمكن عمله لإيقاف السيل الجارف من الرسائل والإعلانات المقحمة على صناديق البريد الإلكتروني الخاصة؟

<ل. كودمان> ـ <D. هيكرمان> ـ <R. راونثويت>

إن أربعا من كل خمس رسائل موجهة إلى ثلثي عدد مستخدمي البريد الإلكتروني، هي رسائل سپامية[1]. يقوم علماء الحاسوب اليوم بالتصدي لمرسلي هذه الرسائل (السپاميين) في سباق مستمر للتسلح من أجل التحكم فيما يدخل إلى صندوق بريدك.

(*) STOPPING SPAM

(1) ج: سپام وهذا تعريب لمصطلح دارج: spam ويطلق على الرسائل المقحمة على بريد إلكتروني خاص. (التحرير)

In

Delete | Reply | Reply All | Forward | New | Mailboxes | Get Mail | Not Junk | From | Search Mailbox

1568 Messages

From	Subject	Date Received	
HomeBizClub	Foreclosure Listing ...	November 3, 2004	10:30 AM
Lorene S...	Be a model	November 3, 2004	12:27 PM
Cristina Ve...	Re: Graph etc	November 3, 2004	12:38 PM
Lee Chapp...	Please forward to yo...	November 3, 2004	1:22 PM
Sandra Su...	Join the party wagon ...	November 3, 2004	9:55 AM
Lacy Vang	Order Rolex or othe...	November 3, 2004	6:37 PM
Caroline S...	Infection & Replicati...	November 4, 2004	7:03 AM
Rustick G4	Flu Family Tree	November 4, 2004	10:23 AM

Mail thinks this message is Junk Mail. Load Images | Not Junk

From: Lacy Vang <l_vang-gw@cbds.on.ca>
Subject: Order Rolex or other Swiss watches online
Date: November 3, 2004 4:22:25 PM EST
To: Alison Kendall

تقوم برمجيات الحراسة بتعرّف الرسائل السپامية عن طريق إيجاد ملامح معينة في رسائل سابقة وإعطاء أوزان لها من خلال ما سبق للمستخدم ان قرره عن كون هذه الملامح مرغوبة أو غير مرغوبة.

في عام 1978، تم إرسال أول **رسالة بريد إلكتروني سپامية** spam e-mail ـ وكان مُلصقا أرسله حينذاك أحد مندوبي المبيعات في الشركة Digital Equipment Corporation إلى حاسوب DEC-20 ـ وجرى إرساله لنحو 400 شخص على شبكة أرپانت Arpanet. وحاليا تشكّل المراسلات غير المجدية، والتي تأتي على شكل إغراءات تجارية غير مرغوب فيها، أكثر من ثلثي مجموع الرسائل الإلكترونية المرسلة على الإنترنت، وتصل إلى بلايين الرسائل يوميا. إن 80 في المئة من الرسائل التي تصل إلى ثلث عدد مستخدمي البريد الإلكتروني، هي رسائل سپامية. وقد أصبحت هذه الرسائل أكثر تهديدا مع انتشار ما يسمى «**الهجمات المزيفة**» phishing attacks، أو الرسائل الإلكترونية الملفقة ـ وهي رسائل تبدو أنها من أناس أو مؤسسات تثق بهم، ولكنها في الحقيقة مرسلة من محتالين من أجل سرقة أرقام بطاقات الاعتماد أو معلومات شخصية أخرى. إن هذه الهجمات المزيفة تكلف نحو 1.2 بليون دولار سنويا، وذلك حسب دراسة أجراها مركز أبحاث گارتنر عام 2004.

إن ظاهرة الرسائل السپامية تؤثر بصورة سلبية في أكثر من مجرد البريد الإلكتروني. ففي داخل **غرف المحادثات** chat room تندس **إنسالات**[1] robots تتظاهر بأنها أشخاص عاديون وتحاول إقناع الناس بالنقر على روابط تؤدي إلى مواقع خلاعية. ويعاني مستخدمو الرسائل اللحظية السپامية (spIM)، وهي الرسائل السپامية المزعجة وتكثر على مواقع الرسائل اللحظية بالذات. كما أن هذه الرسائل تعمل على إفساد قوائم **الروابط** blogs[2] من قبل السپاميين الذين يقللون من كفاءة أداء عمل محركات البحث على الإنترنت عن طريق إضافة روابط مضللة للمواقع، ما يؤدي إلى تشويه **تصنيفات الاستخدام**[3] utility ratings للمواقع والروابط.

يبدو التأثير الخانق للرسائل المزعجة أحيانا على أنه سيفتُّ من عضد، إن لم يضعف مكانة، اتصالات الإنترنت كما تعودنا عليها. ولكن الحقيقة ليست موحشة تماما، فقد تم التوصل إلى طرق عديدة لاعتراض هذه الرسائل ووضع العقبات أمام مرسليها، وهناك وسائل أخرى على الطريق. إن الطرق التي سنناقشها تركز على **رسائل البريد الإلكتروني غير المجدية (الرسائل الجنكية)** junk e-mail، إلا أن العديد منها يمكن تطبيقه على الأنواع الأخرى من الرسائل المزعجة. لكن أيًا من هذه الوسائل لن يكون علاجا سحريا، إلا أنها بمجموعها ـ إذا قامت مجموعة كافية منا بتبنيها ـ يمكن أن تأتي بالعجائب. ولن يكون من قبيل الخيال أن نتطلع إلى اليوم الذي تصبح فيه صناديق بريدنا الإلكتروني شبه خالية من الرسائل السپامية.

رسائل إلكترونية مُغوية(**)

إن انتشار البريد الإلكتروني المُخادع ينتج مباشرة من قوى مرغوبة في السوق: فالرسائل السپامية رخيصة التوزيع جدا، ولكنها ليست مجانية مطلقا. نقدر أن إرسال الرسالة الواحدة يكلف تقريبا جزءا من المئة من السنت. فبأسعار زهيدة كهذه يمكن لمرسل الرسائل السپامية أن يتكلّف 11 دولارا فقط لكل عملية بيع، إلا أنه يجني أرباحا، حتى وإن كانت نسبة الاستجابة منخفضة لتصل إلى واحد من 100 000. لذا، ومع أن القليل جدا من مستخدمي البريد الإلكتروني يمكن أن

(*) Overview / Guarding Your In-Box

(**) Insidious E-mails

(١) ج: إنسالة robot وهذه نحت من إنسان ـ آلي.

(٢) موقع جديد من مواقع الإنترنت تُخزن فيه أولا بأول قوائم الروابط، ويُستخدم كثيرا من قبل محركات البحث.

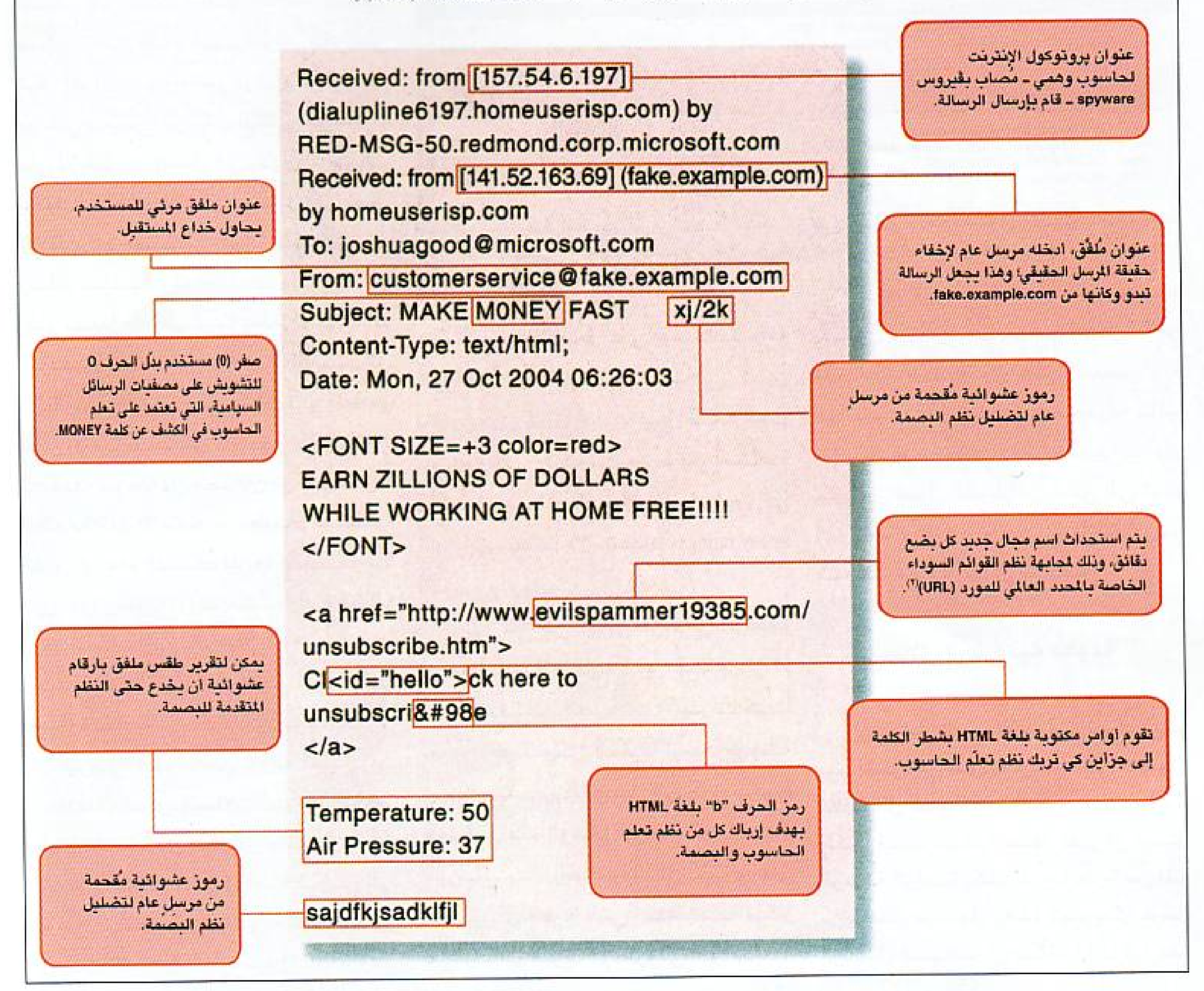
(٣) هي قوائم تُظهر عدد المرات التي يتم فيها زيارة موقع أو رابط معين، وتظهر هذه القوائم أهمية المواقع والروابط المختلفة على الإنترنت من خلال عدد المرات التي يتم فيها زيارتها. (التحرير)

نظرة إجمالية/ حراسة صندوق بريدك الوارد(*)

- يهدد المد المتنامي من رسائل البريد الإلكتروني السپامية سلامة اتصالات الإنترنت. وينشغل المبرمجون بمعركة مستمرة من التهديدات والإجراءات المضادة للسپاميين.
- يمكن لمجموعة من الجهود القائمة والجديدة لإيقاف الرسائل السپامية، بما في ذلك المصفيات (الفلاتر) البرمجية الذكية والنظم التي تتحقق من شرعية مرسلي البريد الإلكتروني والزواجر القانونية القوية، أن توقف هذا السيل من الرسائل السپامية، إذا جرى استخدام تلك الجهود وفرضها بشكل واسع.

مناورات مُرسلي الرسائل السپامية(*)

يستخدم السپاميون(١) طرقا عدة للتحايل على مُصفّيات الرسائل. وإحدى أكثر الطرق بساطة لمواجهة الرسائل السپامية هي مطابقة البصمة، حيث تقوم الحواسيب بتحليل رسائل سپامية معروفة، ثم تقوم بشطب الرسائل الجديدة التي تتطابق معها. وقد تعلم السپاميون بسرعة كيف يهزمون طرق المطابقة البسيطة عن طريق إضافة سلاسل من الأحرف العشوائية أو محتويات عشوائية، كتقارير طقس ملفقة، مما يؤدي إلى تغيير بصمة الرسالة. وأخيرا، بدؤوا بإخفاء تهجئة الكلمات المرتبطة عادة بالرسائل السپامية - مثل تغيير الحرف O في كلمة "MONEY" بالرقم صفر (0). كما تبحث بعض المصفيات عن روابط مطمورة لصفحات وب ومخدمات يعرف ارتباطها بالرسائل السپامية المزعجة. ولكن السپاميين تعلموا استحداث عناوين جديدة باستمرار.



يشتروا أي شيء يتم الإعلان عنه من خلال الرسائل السپامية، فإننا جميعا نعاني بسبب أولئك الذين يفعلون ذلك.

إن أكثر مظاهر الرسائل الإلكترونية إثارة للغيظ هي أنها تتغير باستمرار للتكيف ضد المحاولات الجديدة لإيقافها. ففي كل مرة يقوم مهندسو البرمجيات بالتصدي للرسائل السپامية بطريقة معينة، يجد مرسلو هذه الرسائل وسيلة للالتفاف حول تلك الطريقة. ولقد أدى سباق التسلح هذا إلى تطور مستمر ومشترك عند الطرفين، ونتج من ذلك تعقيد مستمر عند الطرفين لم يسبق له مثيل.

وثمة مشكلة أساسية أخرى تنبع من حقيقة أن المهندسين والقانونيين يجدون من الصعوبة بمكان وضع تعريف لمصطلح الرسائل السپامية. ومعظم القوانين تعرِّفها على أنها رسائل إلكترونية تجارية **لم يجرِ طلبها** un-solicited، وصادرة عن شخص لا يوجد معه علاقة تجارية مسبقا. ولكن هذا التعريف واسع جدا. فعلى سبيل المثال، تسلمنا حديثا عرضا بالبريد الإلكتروني لتحويل قصة كنا قد نشرناها على الإنترنت، إلى فيلم سينمائي. فهذه الرسالة تتفق مع التعريف القانوني السابق؛ فهي غير مطلوبة وتجارية ومن مرسل غير معروف، لكن لا يمكن لأحد أن يسميها «سپامية». يمكن لتعريف بديل أن يتضمن حقيقة أن الرسائل

(*) Spammer Ploys

(١) مرسلو الرسائل السپامية (المقحمة على بريد إلكتروني خاص).

(٢) المحدد العالمي للمورد Universal Resource locator (URL): هو عنوان صفحة الموقع على الشبكة العالمية.

السبامية عادة ترسل بشكل جماعي. ولكننا حديثا قمنا بإرسال دعوات لمؤتمر علمي لمناقشة نظم البريد الإلكتروني وطرق التصدي للرسائل السبامية، وأرسلنا الطلبات لخمسين شخصا لم نقابلهم مطلقا، ولكنهم كانوا قد نشروا أبحاثا في الموضوع. فلم يشتك أي منهم. ربما يكون أفضل تعريف للرسائل «السبامية» أنها موجهة بشكل سيئ وغير مرغوب فيها. إن وضع تعريف دقيق للرسائل السبامية صعب للغاية، ولكنها مثل الأمور الخلاعية، نعرفها فعلا عندما نراها تملأ صناديق بريدنا.

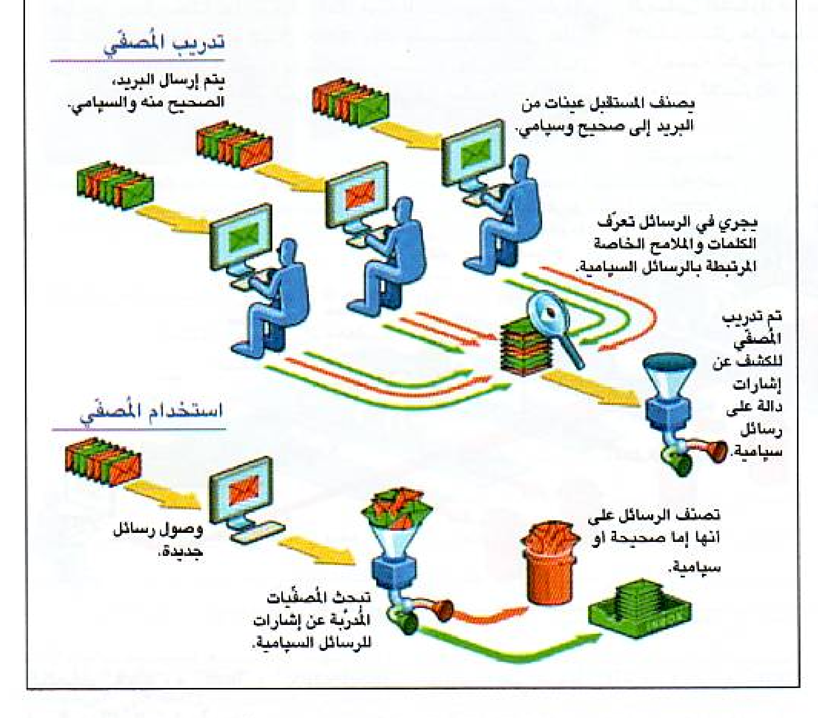
تشكيل الرسائل(*)

لقد عملنا على مشكلة الرسائل السبامية منذ عام 1997، عندما اقترح أحدنا (هيكرمان) أن وسائل **تعلُّم الحاسوب** machine-learning ربما تقدم خطا فاعلا في الهجوم. ومنذ ذلك الوقت، قمنا نحن الثلاثة مع زملاء كثيرين في مجال البرمجيات بالبحث عن طرق لإيقاف هذه الرسائل وتطوير تلك الطرق. وتشمل هذه الطرق مزيجا من الحلول الفنية والقانونية، إضافة إلى مبادرات على مستوى الصناعة.

ومن الوسائل القديمة التي استخدمت سابقا لإيقاف الرسائل المزعجة ما يعرف بطرق **مطابقة البصمة** fingerprint matching. في هذه النظم يقوم مهندسو البرمجيات أولا بجمع أمثلة عن الرسائل السبامية، ثم يجعلون الحاسوب يقوم بإيجاد «بصمة» لها. والبصمة هي رقم مشتق من محتوى الرسالة بحيث تحصل جميع الرسائل المطابقة أو المشابهة على الرقم نفسه. ولإعطاء مثال بسيط، يمكن للشخص أن يضيف عدد تكرار الحرف A في الرسالة إلى عدد تكرار الحرف B مضروبا في العدد 10، إضافة إلى عدد تكرار الحرف C مضروبا في 100. وهكذا، عندما تصل رسالة سبامية جديدة، يقوم برنامج التصدي هذا بحساب رقم البصمة الخاص بالرسالة ومقارنته ببصمة الرسائل السبامية المعروفة.

مستخدمو البريد الإلكتروني يدربون مصفيات السبامات(**)

عالج أول برنامج أنتجته الشركة مايكروسوفت لتصفية السبامات (الرسائل السبامية) معلومات تم جمعها من 20 فقط من مستخدمي البريد الإلكتروني. ومع تزايد حذق السباميين، أصبحت الحاجة ملحةً إلى مصادر أفضل للبيانات. ويقوم حاليا 000 100 متطوع من مستخدمي Hotmail بالمساعدة على جمع رسائل غير مجدية (جنكية). يصنف هؤلاء المستخدمون مجموعة عشوائية من رسائلهم الخاصة على أنها إما صحيحة أو سبامية، مما يساعد النظام على تعلم أهداف جديدة في تصفية الرسائل على أسس نظامية. وعندما يجد السباميون طريقة للتحايل على برنامج التصفية، فلن يستغرق الأمر فترة بسيطة حتى يحدد النظام كيفية تعرّف الرسائل السبامية الجديدة واستبعادها.



فإذا توافقت البصمتان، يقوم البرنامج بمسح الرسالة أو أرشفتها.

ولكن مما يؤسف له، أن مرسلي الرسائل قد تغلبوا بسهولة على هذه الطرق، إذ قاموا ببساطة بإضافة أحرف عشوائية إلى رسائلهم (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*). وردَّ محاربو الرسائل بطرق أكثر تعقيدا لحساب البصمة، وذلك بمحاولة تجاهل سلاسل الأحرف العشوائية الواضحة، ولكن المزعجين تغلبوا على هذه الجهود بمحتويات رسائل تبدو أكثر شرعية، مثل تقارير طقس مزيفة (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*). وأخيرا، يبدو أن جعل نظم البصمة قوية بدرجة كافية بحيث تمكننا من النظر خلال السلاسل العشوائية للمرسلين، هو أمر صعب جدا.

مُصفّيات ذكية(***)

بدلا من متابعة الطرق التي تعتمد البصمة، اتبعت مجموعتنا طريقا آخر يعتمد على قدرة الحاسوب على التعلُّم. وهذه البرامج الحاسوبية المتخصصة يمكنها أن تتعلم التمييز بين الرسائل السبامية والرسائل الحقيقية، ولا يمكن التشويش عليها بإضافة بعض الحروف أو الكلمات العشوائية.

في البداية، جربنا أبسط طرق تعلُّم الحاسوب وأكثرها شيوعا. تبدأ خوارزمية نايف بَيس[1] Naive Bayes باحتمال ورود كل كلمة في الرسالة. فاحتمال ظهور كل من

(*) Morphing Messages

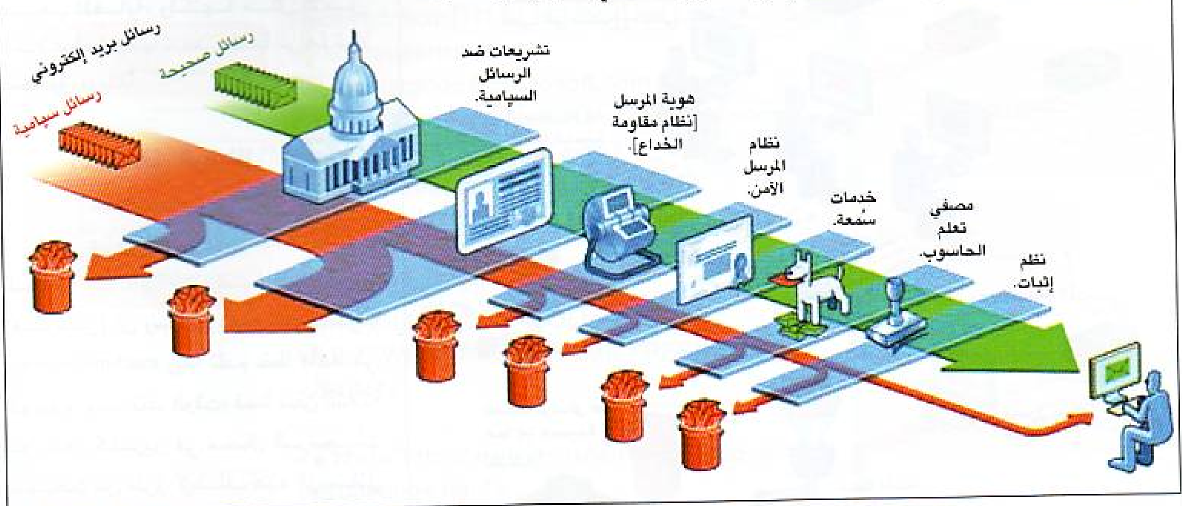
(**) E-Mail Users Train Spam Filters

(***) Smart Filters

(1) إحدى الخوارزميات الشهيرة والناجحة في تعليم الحاسوب على تصنيف النصوص. (التحرير)

جهود متعددة لإيقاف الرسائل السپامية(+)

ربما يتطلب إيقاف الرسائل السپامية دفاعا متراصا يضم قوانين تثبط هذه الرسائل السپامية، وتقانات تُميِّز العناوين الملفقة للسپاميين، وبرامج ذكية لتصفية البريد الإلكتروني ونظم إثبات تتحقق من أن المرسل شخص ما أو التي تجعل من العملية مكلفة جدا لا يستطيع السپاميون تحملها. إن خط الدفاع الأول هو التشريعات الحكومية. يمنع القانون CAN-SPAM بعض الممارسات المؤذية بالذات، ولكن يبدو أنه حتى الآن لم يتم على الأغلب ردع السپاميين. ولأن نحو نصف عدد الرسائل السپامية يستخدم عناوين إرسال ملفقة، فإن معيار «إطار هوية المرسل» يضيف معلومات مساعدة إلى مخدم اسم المجال (DNS)، وذلك بتحديد قائمة من عناوين پروتوكولات الإنترنت الخاصة بالحواسيب المسموح لها بإرسال رسائل من ذلك المجال. ويقوم نظام البريد الإلكتروني في حاسوب شخصي بفحص «قائمة آمنة» من المرسلين الموثوقين الذين سبق أن حددهم المستخدم. يمر المرسلون الواردة أسماؤهم في القائمة من دون أية تصفية أخرى. أما الذين لا ترد أسماؤهم في القائمة الخاصة «الآمنة»، فيجري التحقق من شخصيتهم من قبل أحد مخدمات السمعة الخاصة بالمرسلين، الذين يوافقون على الالتزام بالمعايير الصارمة التي تمنع إرسال الرسائل السپامية. وإذا لم يكن المرسل على أي من القائمتين، فستذهب الرسالة إلى مُصفٍّ ضد الرسائل السپامية يعمل بمبدأ تعلم الحاسوب. أما المرسلون المشكوك فيهم ولو قليلا، فإن عليهم أن يقدموا شكلا من الإثبات ـ مثل حل أحجية بسيطة تثبت أن المرسل شخص، أو الإجابة عن أحجية أكثر صعوبة تتطلب وقت معالجة حاسوبية مكلِف، أو دفع مبلغ قابل للاسترداد.



الكلمات "click"، و "here" و "unsubscribe" في الرسائل السپامية، على سبيل المثال، هو 0.9؛ واحتمال ظهورها في رسائل البريد الإلكتروني المشروعة هو 0.2 (1.0 احتمال مؤكد). بإيجاد حاصل ضرب احتمال جميع الكلمات الواردة في رسالة ما وباستخدام مبدأ إحصائي يعرف **بقانون بيس** Baye's rule، نحصل على تقدير احتمال أن تكون الرسالة من الرسائل السپامية.

تعمل استراتيجية نايف بيس[1] بصورة جيدة على تحديد كيف يكون شكل رسائل البريد الإلكتروني الأصيلة، وكجميع طرق التعلّم، فهي تقاوم طرق التشويش البسيطة. ولكننا كنا مدركين جيدا لنقاط ضعفها. فافتراضها أن الكلمات في الرسائل الإلكترونية تأتي منفصلة عن بعضها وغير مترابطة في كثير من الحالات هو افتراض خاطئ (على سبيل المثال، "click" و "here" غالبا ما تظهران معًا)، وهذا يؤدي إلى انحراف النتائج.

وبسبب هذه الصعوبات، فإن بحثنا يركِّز على النماذج الخطية المميِّزة، والتي تقوم بتحسين القرارات الأخيرة للنماذج عندما تُعطي أوزانا للميزات المختلفة. هذه الميزات تتضمن كلمات الرسالة وخواصها، مثل: هل الرسالة مرسلة للعديد من المستقبلين. تستطيع هذه النماذج، بشكل ما، أن تتعلم العلاقات بين الكلمات ـ مثل «معرفة» عدم وضع أهمية كبيرة على الكلمات التي غالبا ما تظهر مع بعضها، مثل "click" و "here" و "unsubscribe". ولزيادة الإيضاح، دعنا نفترض أن أحد نماذج نايف بيس صادف هذه الكلمات الثلاث، والتي غالبا ما ترتبط بالرسائل السپامية. ربما تقرر تلك النماذج أن لديها شواهد كفاية لتقرير أن أية رسالة تحتوي هذه الكلمات الثلاث هي رسالة **غير مجدية (جَنْكية)** junk، ومن ثم يؤدي بها ذلك أحيانا إلى إلغاء رسائل إلكترونية حقيقية. وفي المقابل، فإن نموذجا مميِّزا تم تدريبه، سيدرك أن هذه الكلمات غالبا ما تأتي مع بعضها، ومن ثم سيعطيها وزنا أقل ومعقولية أكثر. إن نموذجا كهذا يمكنه حتى أن يتعلم أن كلمة مثل "here"، والتي يمكن أن تتكرر كثيرا في الرسائل السپامية، يجب أن لا تعطى أي وزن مطلقا، لأنها لا تساعد فعلا على تمييز الجيد من السيئ بين الرسائل. وتستطيع الطرق المميِّزة أيضا أن تكتشف أن بعض الكلمات تلغي كلمات أخرى. فمع أن كلمة "wet" تظهر غالبا في الرسائل السيئة، فإن ظهورها مع كلمة "weather"، يزيد من إمكانية

(+) Multiple Anti-Spam Efforts
(1) Naive Bayes

أن تكون الرسالة شرعية.

من فوائد نظم نايف بيس أنها سهلة التدريب (يمكن تدريبها). إن تحديد الأوزان للطرق المميَّزة أكثر صعوبة؛ فهي تتطلب من المبرمجين أن يحولوا مجموعات عديدة من قيم الأوزان للكلمات وللصفات المميِّزة الأخرى من أجل إيجاد توليفة يمكنها أن تقوم بأفضل السبل لتمييز الرسائل المزعجة من المقبولة. ولحسن الحظ، فقد أحرز الباحثون تقدما ملحوظا في هذا المجال. فخوارزميات مثل **التحسين المتتالي الأصغر** Sequential Minimal Optimization، التي اخترعها <ج. پلات> [من الشركة مايكروسوفت] **وخوارزمية التناسب المتتالي الشرطي العام المتكرر** Sequential Conditional Generalized Iterative Scaling (SCGIS)، التي وضعها أحدُنا (كودمان)، هي طرق أسرع بعشرات أو بمئات المرات من الطرق القديمة. فعند التعامل مع كميات كبيرة من بيانات التدريب على الرسائل السپامية، أي على أكثر من مليون رسالة ومئات الألوف من الأوزان، فإن الخوارزميات الأسرع تكون أكثر حسما.

إخفاء الرسائل السپامية(*)

لقد عرفنا منذ البدء أن نظم تدريب الحواسيب، التي تُركز على الكلمات في رسالة ما، ستكون عرضة لتدخل السپاميين[1] الذين يخفون طريقة كتابتهم للرسائل. فالسپاميون الماهرون، على سبيل المثال، تعلموا استخدام كلمات مثل "M0NEY" (باستخدام الرقم صفر "0" بدلا من الحرف "O") أو باستخدام خِدَع اللغة HTML، مثل فصل الكلمة إلى عدة مقاطع (مثل كتابة "click" على شكل "cl" و"ick"). ولأن دلالة المصطلحين ("money" و "click") لم تعد موجودة في الرسالة، فإنه يمكن تشويش المصفِّي (*انظر الإطار في الصفحة 46*). والخبر المفرح هو أن نظم تدريب الحاسوب يمكنها غالبا أن تتعلم هذه الخدع وتتلافاها.

صور خلاعية
نظم تعرّف الصور(**)





إن النظم الآلية لمجابهة الصور الخلاعية، والتي تقوم بتصفية واستبعاد الصور الجنسية الصريحة، تخطئ أحيانا في اعتبار صور مقبولة، كالمبينة أعلاه، على أنها صور مرفوضة.

لسوء الحظ، فقد افترضنا خطأ أن بعض الناس فقط قد يستجيبون لرسالة من الواضح أنها تحاول التغلب على مصفِّي الرسائل السپامية، لأننا فكّرنا ـ من يمكن أن يشتري منتجا بهذه الطريقة؟ ولكن للأسف، كنا مخطئين؛ فالذين يشترون المنتجات المحظورة أو غير القانونية لا يتوقعون من البائعين أن يستخدموا طرق إعلان محترمة. ولذا فقد كان علينا أن نغير نظم التعلُّم لدينا باستخدام ما يسميه الباحثون نماذج n-gram. هذه الطرق تستخدم السلاسل الجزئية للكلمات لكشف الكلمات الأساسية التي غالبا ما ترتبط بالرسائل السپامية. فإذا كانت هناك رسالة إلكترونية تحتوي على جملة "n@ked l@dies"، على سبيل المثال، فإن نموذج n-gram المستخلص منها سيحتوي على "<space>n@k," "n@ke," "@ked"، وهكذا. ولأن هذه الأجزاء من الكلمات تظهر في رسائل سپامية مؤكدة، فإن وجودها يقدم دليلا قيِّما.

لقد ساعدت النماذج n-gram أيضا على تحسين استخدام المُصفِّيات عند **تطبيقها على اللغات الأجنبية**. فاللغتان اليابانية والصينية، على سبيل المثال، لا تستخدمان **الفراغات** spaces للفصل بين الكلمات، لذا فإن إيجاد نهايات الكلمات بشكل واضح أمر في غاية الصعوبة. ولهذه اللغات، يُمكِّن نموذج n-gram النظم من استعراض كل كلمة ممكنة وكل جزء من الكلمة.

الرسائل السپامية التي تعتمد على الصور(***)

يقوم السپاميون أحيانا بإخفاء رسائلهم في صورة، حيث لا تستطيع نظم تعلم الحاسوب تحليل المحتويات (مع أنها تستطيع استخدام دلالات أخرى، مثل الروابط في الرسالة ومعلومات عن سُمعة المرسل، وغير ذلك). وأحد المجالات الواعدة في الأبحاث المستقبلية هو استخدام وسائل **تعرّف الحروف بصريا** optical character recognition (OCR) في تصفية الرسائل السپامية. ويمكن لطرق التعرف نفسها التي تُستخدم في مسح الوثائق أن تجد جميع النصوص الموجودة في الصور، ثم تمررها إلى مصفٍّ خاص بتعليم الحاسوب.

ومن أكثر مظاهر الرسائل السپامية عدوانية هو ظهور صور عارية في صندوق بريد شخص ما. ولحسن الحظ،

(*) Hiding Spam

(**) Pornographic, Image-Recognition Systems

(***) Image-Based Spam

(1) ج: سپامي spammer وهو شخص يقحم رسائل أو إعلانات على بريد إلكتروني خاص. (التحرير)

فإن الباحثين في مجال الرؤية بالحاسوب أحرزوا نجاحا عظيما في مجال الكشف الآلي عن الصور الخلاعية. إن العمل في هذا المجال واسع بشكل مدهش، لأن له تطبيقات في منع وصول الأطفال إلى المواقع التي تحتوي على مواد إباحية وفي منع أصحابها من إساءة استخدام النظم المجانية لاستضافة المواقع. ولكن نظم تعرّف الصور هذه، مازالت مستهلكة للوقت، كما أن درجة الاعتماد عليها في التعرف بحاجة إلى تحسين. فالصور الحميدة، ولا سيما تلك التي تُظهر جزءا كبيرا من الجلد، ربما تطلق إنذارات كاذبة (*انظر الإطار في الصفحة 49*).

كما يقوم فريقنا بالبحث في تحليل المعلومات الخاصة بالمحدد العالمي للموقع (URL) ـ الكود الذي يربط بصفحات الموقع ـ من أجل تمييز الرسائل السپامية. إن 95 في المئة من الرسائل السپامية تحتوي على محدد موقع عالمي (URL). والهدف الرئيسي لمعظم السپاميين هو جلب المستخدمين لزيارة مواقعهم على الوب (مع أن نسبة قليلة منهم يفضلون الاتصال من خلال الهاتف). لذا فإن معلومات محدد الموقع العالمي هي هدف متميز للمُصفِّيات.

ويمكن للمُصفِّيات أن تستخدم معلومات المحدد URL بعدة طرق. فقد بدأ بعض مقدمي برمجيات مقاومة الرسائل السپامية بمنع الرسائل التي تحتوي روابط لصفحات على الوب معروفة بصلاتها بالسپامات. ويمكن اعتبار روابط المجالات غير المعروفة سابقا بأنها مشبوهة: ينشئ السپاميون مجالات جديدة بسرعة كبيرة، في حين تكون معظم المجالات الشرعية أكثر ديمومة. وفي المقابل، فإن معلومات المحدد URL يمكن أن تكون مؤشرا على رسائل شرعية: إن رسالة تحتوي على مجرد روابط لصفحات معروفة بعدم ارتباطها بالسپامات، أو لا تحتوي إطلاقا على المحددات URL، أقل احتمالا من أن تكون سپامية.

أثبت ذلك[*]

ومع أن تقنيات التصفية تعمل بصورة جيدة، فإننا ندرك أن السپاميين سيحاولون دائما التغلب على هذه التقنيات. وبدلا من أن نحاول كسب هذه المنافسة اللانهائية، **نعتقد** أن أكثر الوسائل نجاعة على المدى البعيد هي أن نغير قوانين اللعبة. لذا، فإننا نعمل على استكشاف **نظم إثبات** proof systems ـ نظم هدفها أن تتطلب من السپاميين أكثر مما يستطيعون تقديمه.

إن الرسالة السپامية الأولى تماما كانت قد أرسلت بطباعة 400 عنوان إلكتروني يدويا. أما اليوم، فإن جميع الرسائل السپامية يتم إرسالها آليا. فإذا استطاع المرسل أن يثبت أنه إنسان، فإن المرسل على الأغلب ليس من السپاميين. وأحد أوائل نظم الإثبات، الذي اقترحه <M. ناور> [من معهد وايزمان للعلوم] يستخدم هذه الفكرة. لقد اقترح <ناور> استخدام ما صار معروفا **بالأدلة التفاعلية البشرية** human interactive proofs (HIPs)، ونظام CAPTCHA ـ وهو اختصار للمصطلح completely automated public Turing test to tell computers and humans apart، ويعني اختبار تيورينك الآلي العام للتمييز بين الإنسان والحاسوب ـ أو اختبار تيورينك المعكوس[1]. إن دليل التفاعل البشري (HIP) هو مسألة أو أحجية مصممة بحيث تكون سهلة جدا لمعظم البشر ولكنها صعبة جدا على الحاسوب. فالبشر، على سبيل المثال، متفوقون بشكل كبير على الحواسيب في تعرّف مجموعات عشوائية من حروف هجائية معماة جزئيا أو مشوشة في صورة معينة.

يشكل أي دليل تفاعل بشري HIP جزءا من نظام استجابة مُتحدٍّ، يتحقق من أن المرسل شخص أم لا. قبل توزيع رسالة ما، يقوم النظام أولا بفحص «قائمة آمنة» من المرسِلين يعتبرها المستقبِل جديرة بالثقة. فإذا كان المرسل موجودا في القائمة، يتم وضع الرسالة في صندوق بريد المستقبِل، وإلاّ يتم إرسال رسالة تَحدٍّ إلى المرسل الأصلي تطلب إليه أن يحل دليل تفاعل بشري (HIP). وبعد أن يحل المرسل دليل التفاعل، يتم نقل استجابته إلى المستقبِل، وتقوم برمجيات البريد الإلكتروني الخاصة بالمستقبِل بنقل الرسالة إلى صندوق بريده.

إلاّ أن هذا النوع من النظم التفاعلية يمكن أن يكون مزعجا للمستخدمين. فقليل من الناس يريدون أن يحلوا أدلة تفاعل بشري من أجل إرسال بريد إلكتروني، حتى إن بعضهم يرفضون عمل ذلك. وثمة طريقة بديلة لإثباتٍ آلي، تم اقتراحها من قبل <ناور> وزميلته <C. دوورك> وتستخدم الأحجيات الحاسوبية. لتسليم رسالة بنجاح، يجب أولا على نظام البريد الإلكتروني الخاص بالمرسِل أن يحل أحجية حاسوبية مرسَلة من نظام المستقبِل. والفكرة هي أن يبرهن المرسل أنه صرف وقتا حاسوبيا على تلك الرسالة بالذات، أكثر مما يستطيع أن يتحمله شخص سپامي. وتشبه الأحجيات الحاسوبية ألعاب الصور المُقطّعة ـ صعبة الحل ولكن من السهل التحقق منها. فهذه الألعاب تتطلب ما معدله ثوانٍ معدودة وحتى دقائق لإيجاد حل لها، ولكنها لا تتطلب أكثر من أجزاء في الألف من الثانية للتحقق من حلها. إن حل هذه المشكلات باستجابة مباشرة ربما يتطلب من مرسل الرسائل السپامية شراء عدة حواسيب، مما يجعل التكلفة شبه مستحيلة.

وثمة نوع آخر من نظم الإثبات تستخدم مالا حقيقيا. يُرفق المرسلون مع رسائلهم نوعا من الشيك الإلكتروني بمبلغ ضئيل، بنسا واحدا على سبيل المثال. إن إرفاق هذا المبلغ يسمح لرسالتهم بالعبور خلال مصفيّات الرسائل. إذا كانت الرسالة جيدة، يقوم المستلم بتجاهل الشيك؛ أما إذا كانت الرسالة سپامية، فإن هناك آلية موحّدة للشكاوى تسمح للمستلم بالحصول على المبلغ (أو التبرع به لجهة خيرية). وبينما

(*) Prove It

(1) reverse turing tests [نظر: "*Baffling the Bots*," by Lee Bruno; *Scientific American*, November 2003].

تقوم برمجيات خاصة بتحديد السعر بمراقبة أحجام رسائل المرسلين، بحيث لا يقومون بإرسال رسائل أكثر مما يسمح لهم حسابهم. وهذا النظام مجاني للمرسلين الشرعيين، ولكنه بالنسبة إلى مرسلي الرسائل السپامية، فإن تكلفة الرسالة الواحدة يمكن أن تصل إلى سنت - أي أكثر بمئة مرة من تقديرنا للسعر الحالي - وهذا أكثر مما يحتمله السپاميون. وبالنسبة إلى الأفراد، يتم هذا عن طريق إيداع مبلغ افتراضي من المال من مقدم **خدمة الإنترنت** Internet Service Provider أو عندما يقومون بشراء برمجيات البريد الإلكتروني، لذا فإنه مجاني لمعظم المستخدمين.

ومع بساطة ذلك من حيث المبدأ، فإن نظم الرقابة من هذا النوع ستكون صعبة من الناحية العملية. فالنظم الإلكترونية تتطلب بعض التكلفة الزائدة، فهذه الحركات لن تكون مجانية. كما أن الكثير من الأسئلة الخاصة بالتركيبة البنكية للدفعات المالية البسيطة يبقى من دون حل: من أين يأتي المال اللازم لتغطية هذه التكاليف؟ كيف يمكن المحافظة على عملياتها، ومن سيجني الربح؟ من الذي سيأخذ المبالغ المدفوعة، وكيف يمكن للنظام أن يمنع الاحتيال؟ ومع أن جميع هذه الأسئلة يمكن حلها، فإن الشروع بعمل كهذا سيكون صعبا.

هجوم شامل(*)

إن استراتيجيتنا المفضلة لإيقاف السپامات تجمع بين تقنية تصفية (فلترة) البريد الإلكتروني وخيار اختبارات الدليل: الأدلة التفاعلية البشرية (HIPs) والأحجيات الحاسوبية والدفعات الصغيرة جدا. وفي هذه الطريقة، إذا لم يكن مُرسِل الرسالة ضمن القائمة الآمنة للمستقبِل، تُحوَّل الرسالة إلى مُصفٍّ مضاد للإزعاج يعتمد على تعلم الحاسوب وصُمم ليكون عدائيا؛ فإذا كانت الرسالة مشكوكا فيها ولو بدرجة بسيطة، فيجري تحدي المرسِل. إن معظم الرسائل من شخص إلى آخر - على كل حال - لن تكون محل نزاع، وهذا يقلل إلى حد كبير عدد الأدلة المطلوبة. يُعطى المرسِل عندئذ الخيار: إما أن يحل دليل تفاعل بشري (HIP) أو أحجية حاسوبية أو أن يقدم مبلغا قليلا قابلا للاسترداد. إذا كان حاسوب المرسَل مزودا ببرمجيات حديثة، فإنه يحل اللغز أو الأحجية آليا، حتى من دون علم المرسل بالتحدي. وإلاّ فعلى المرسل أن يحل دليل تفاعل بشري (HIP) أو أن يدفع مبلغا قليلا.

بالطبع، فإن الشركات أو المؤسسات التعليمية لن تستطيع منفردة، بصرف النظر عن كبر حجمها، أن تحرز سوى تقدم بسيط ضد السپامات. إن حلا شاملا للمشكلة يتطلب تعاون جميع العاملين في صناعة الحواسيب والبرمجيات، إضافة إلى الحكومات.

إن ثلثي مجموع الرسائل الإلكترونية تقريبا تستخدم عناوين مرسِلين ملفقة أو «ساخرة». وبروتوكولات البريد الإلكتروني المستخدمة حاليا مبنية على الثقة: يصرح المرسلون ببساطة عن أسمائهم ويصدقهم المستقبلون. لقد عملت هذه الطريقة بصورة جيدة في بواكير الإنترنت، قبل أن تنتشر الرسائل السپامية وقبل أن يُستخدم البريد الإلكتروني في العمليات التجارية.

وتغيير معايير الإنترنت عملية صعوبتها مشهورة، وكانت صعبة بشكل خاص فيما يتعلق ببروتوكولات البريد الإلكتروني. ولكن هناك معيارا جديدا في هذه الصناعة، هو **إطار هوية المرسِل** Sender ID Framework، يقوم بتناول هذه المشكلة. يعمل هذا المعيار عن طريق إضافة معلومات مساعدة إلى مخدم اسم المجال (DNS) لعمل قائمة بعناوين پروتوكول الإنترنت Internet Protocol addresses التي يمكن أن تأتي منها رسائل من مجال محدد (أجزاء من الشبكة).

إن عناوين پروتوكول الإنترنت IP addresses هي عناوين رقمية، مثل أرقام الشوارع، لأجهزة الحاسوب، مثل "1.2.3.4". تُحدِّد قائمة «مخدم اسم المجال» (DNS) لمجال معين، على سبيل المثال com. - أي عناوين IP يسمح لها بإرسال بريد من ذلك المجال. فإذا تظاهر سپامي بأنه example.com مثلا، فإن عنوان پروتوكول الإنترنت الخاص به لن يتوافق مع أي من عناوين IP الموجودة في لائحة هوية المرسل الخاصة بـ example.com، وسيعرف برنامج البريد الإلكتروني أن بريد هذا السپامي ملفق.

وعلى الرغم من أن معرفة هوية المرسِل هي خطوة حرجة في منع الاحتيال (كما في رسائل البريد الإلكتروني التي تتصيد المستخدمين)، فإن هذا لن يحل المشكلة. فليس هناك ما يمنع السپاميين من عمل أسماء وشخصيات جديدة كل يوم، وحتى كل بضع دقائق. لذا فإن **مخدمات السُّمعة** reputation services - التي بوساطتها يستطيع المرسلون الشهادة على أنفسهم بأنهم شرعيون - ستكون في غاية الأهمية.

في إحدى هذه الحالات، البرنامج IronPort's Bonded Sender، يقوم المرسل بإيداع مبلغ من المال كسند ضمان. فإذا وصلت نسبة الشكوى من المرسل إلى حد معين، فإنه يخسر مبلغ الضمان لصالح جهة خيرية معينة. ويمكن لمصفيات الرسائل السپامية التحقق من قائمة المرسلين في البرنامج Bonded Sender والسماح بالبريد من المرسلين المعتمدين بالمرور من المصفّي، حتى لو بدا هذا البريد مشبوها. ويمكن لبرامج كهذه العمل حتى لأولئك الذين يرسلون رسائل قليلة. ويمكن لمقدمي خدمة الإنترنت، من أمثال المخدمين MSN و AOL، الانضمام لأحد مخدمات السُّمعة هذه من أجل استخدام برامج الاعتماد الخاصة بها؛ ثم تقوم بمراقبة حجم كل بريد إلكتروني

(*) All-Inclusive Attack

التتمة في الصفحة 82

التطور المبكر للحيوانات(*)

تكشف الأحافير(1) الدقيقة أن الحياة المعقدة للحيوانات أقدم مما تصورنا بنحو 50 مليون سنة على الأقل.

<J. D. بوتجر>

قال <J.-Y. تشن> ونحن نراقب العربة تختفي عند منحنى في الطريق: «في هذه الشاحنة أحفورة لحيوان متماثل الجانبين(2)». كنت قد جمعتُ مع <تشن> [عالم الأحافير (المستحاثات) بالأكاديمية الصينية للعلوم في نانينك] و <S. Q. دورنوبس> [وهو زميل بجامعة كاليفورنيا الجنوبية] حمولة شاحنة من الصخور السوداء من ترسيبات يراوح عمرها بين 580 و 600 مليون سنة في إقليم كويزو. لقد كان <تشن> متأكدا من أنها تحمل شيئا غاية في الأهمية.

كنا قد أتينا إلى كويزو عام 2002 للبحث عن أحافير مجهرية لبعض الحيوانات المعنة في القدم على وجه الأرض، وبالتحديد كنا نأملُ العثورَ على حيوان متماثل الجانبين. إن ظهور التماثل الجانبي ـ توازن صورة المرآة للأطراف والأعضاء ـ يمثل خطوة بارزة في تاريخ الحياة. فلم تكن الحيوانات العديدة الخلايا الأولى متماثلة الجانبين، وإنما كانت قطرات مائية غير متماثلة ـ إسفنجيات ـ قامت بتصفية جزيئات الغذاء من تيارات الماء التي تولدها؛ أما اللواسع، وهي كائنات مائية شعاعية التماثل، فقد كانت أكثر تعقيدا، إذ كانت مزودة بخلايا لاسعة متخصصة يمكنها شل حركة الفريسة. وتشكل الحيوانات المتماثلة الجانبين بقية الحيوانات من الديدان حتى الإنسان، وفي بعض مراحل دورة حياتها لا تُظهر جميعها التوازن الأيمن-الأيسر الواضح فحسب، بل أيضا جسما متعدد الطبقات له فم ومِعى وشرج.

وحتى بضع سنوات مضت، كانت الآراء متفقة على أن الحيوانات المتماثلة الجانبين ظهرت في سجل الأحافير قبل 555 مليون سنة، مع أن معظمها ظهر في وقت لاحقٍ في تفجر ابتكاري(3) يعرف بالانفجار الكامبري، بدأ قبل نحو 542 مليون سنة. وقد أدت ندرة الأحافير المبكرة إلى استحالة تمحيص الآراء حول ما الذي أشعل فتيل هذا الانفجار أو حتى القول بالتأكيد ما إذا كانت هذه حقيقة أو مجرد ظن، لأن الحيوانات المبكرة لم تترك سوى آثار قليلة ملموسة. ولكن البحث على مدى السنوات الست الماضية ـ بما فيه بحثنا في إقليم كويزو ـ قد أدى إلى تغيير الرأي الذي اعتقدناه طويلا، وإلى القول بأن الحيوانات المعقدة قد نشأت وظهرت قبل الانفجار الكامبري بخمسين مليون سنة على الأقل.

الساعات الجزيئية والمناطق الرئيسية (المناطق الأم)(***)

يعتبر التحليل الجزيئي، وبخاصة تقنية ما يسمى الساعات الجزيئية، مفتاحا للتفكير الحديث في متى نشأت الحيوانات المبكرة. وتعتمد فكرة «الساعة» على افتراض حدوث بعض تغيرات تطورية بمعدلات منتظمة. فعلى سبيل المثال تندمج الطفرات في دنا DNA الجينات على مدى ملايين السنين بمعدل ثابت، ومن ثم يمكن أن تعمل الاختلافات في دنا الكائنات «كعينة زمنية» لقياس التاريخ الذي انشق split فيه نسلان من سلف مشترك واتجه كل منهما في طريقه المستقل مجمِّعا لطفراته المميزة.

نظرة إجمالية/ أقدم مما تصورنا(**)

- ترسم نشأة التماثل الجانبي علامة لخطوة حاسمة في التطور المبكر للحيوانات.
- يومئ التحليل الوراثي إلى أن التماثل الجانبي نشأ وظهر قبل ما يراوح بين 573 و 656 مليون سنة، إلا أن الخلاف يشوب هذا التاريخ لأسباب عديدة، أقواها أنه حتى الآن ترجع أقدم الأحافير (المستحاثات) المتماثلة الجانبين إلى 555 مليون سنة مضت فقط.
- حديثا، وجد المؤلف وزملاؤه دليلا من الأحافير يدعم التاريخ الأقدم: كائنات مجهرية في رواسب صينية يرجع عمرها إلى ما يراوح بين 580 و 600 مليون سنة.
- إن الأحافير الصغيرة لا تدعم فقط التاريخ القديم لبداية الحياة الحيوانية المعقدة، وإنما توضح أيضا أن التعقيد الداخلي نشأ وتطور قبل أن تتطور الزيادة في الحجم.

(*) THE EARLY EVOLUTION OF ANIMALS
(**) Overview / Older Than We Thought
(***) Molecular Clocks and Lagerstätten
(1) fossils المستحاثات.
(2) bilaterian
(3) burst



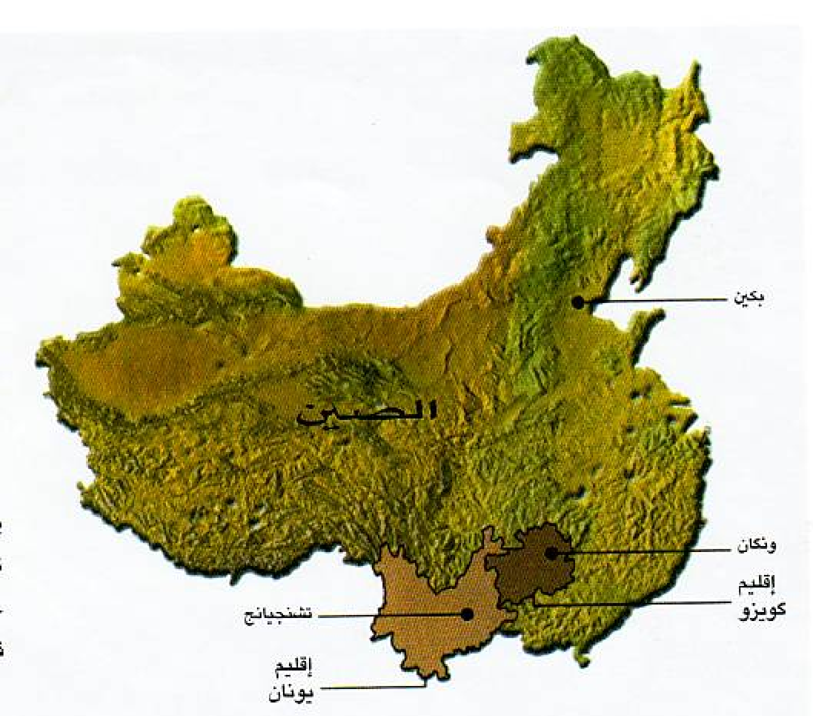
إنه أقدم الأحافير الحيوانية التي اكتُشفت حتى الآن، ويظهر تماثلا جانبيا، وهو ڤرنانيملكيولا الذي كان يعيش في البحار قبل ما يراوح بين 580 و 600 مليون سنة. هذا الشكل من إعادة البناء يكبّر الحيوان لإظهار مدى تعقيده، لقد كان في حياته بحجم النقطة التي في نهاية هذه الجملة.

ولتقدير توقيت منشأ المجموعات الحيوانية الرئيسية المختلفة، استخدم <G. وراي> وزملاؤه [من جامعة ديوك] معدل ساعة جزيئية يعتمد على الحيوانات الفقارية. وتفترض نتائجهم، التي نُشرت عام 1996، أن متماثلات الجانبين تفرعت من حيوانات أكثر بدائية في وقت موغل في القدم خلال **العصر ما قبل الكامبري** Precambrian era، يبلغ 1.2 بليون سنة.

وأظهرت الدراسات التالية باستخدام الساعة الجزيئية تقديرات لهذا الانشقاق تختلف اختلافات ذات دلالة تراوح بين قديم يبلغ بليون سنة وحديثٍ عند ما قبل العصر الكامبري مباشرة. وقد أدت هذه الاختلافات في التقدير بطبيعتها إلى الشك في التقنية المستخدمة. وتناولت دراسة حديثة قام بها <K. بيترسون> وزملاؤه [من كلية دارتموث] بعض هذه الجوانب. وبوجه خاص استخدموا معدل ساعة جزيئية مشتقا من اللافقاريات وهو أبطأ من المعدل المعتمد على الفقاريات.

لقد وضع هذا البحث السلف المشترك الأخير لمتماثلات الجانبين عند تاريخ أحدث كثيرا، رغم بقائه أقدم من الانفجار الكامبري في الفترة بين 656 و 573 مليون سنة مضت. وحتى هذا التاريخ أشعل الاختلاف: وهكذا صار واضحا أن الأحافير الفعلية هي وحدها التي سوف تقدم دليلا لا يقبل الجدل على توقيت ظهور متماثلات الجانبين. وقد أعطى هذا التحقق دافعا كبيرا لعلماء الأحافير للخروج إلى الحقل للبحث عن أحافير أقدم من العصر الكامبري، وكنتُ واحدا من هؤلاء العلماء الذين تحمسوا للبحث عن تلك العينات المراوغة.

إن إحدى المشاكل الكبرى في البحث عن هذه الحيوانات هي أنه لم يكن لها



احتفظ توضُّعان في الصين ببقايا حيوانات لينة الجسم تقدم معلومات جديدة عن التطور المبكر. ففي عام 2004 اكتشف المؤلف وزملاؤه أقدم الحيوانات المتماثلة الجانبين في صخور تم جمعها من تكوينات دوشانتو التي يصل عمرها إلى ما يراوح بين 580 و 600 مليون سنة بالقرب من ونجان. وترجع أهمية ذلك إلى أن الأحافير الصغيرة من رواسب عمرها نحو 525 مليون سنة بالقرب من تشنجيانج قد وسّعت فهمنا للانفجار الكامبري.

هياكل صلبة يمكن أن تتمعدن وتصبح أحافير، لذا كان علينا أن نعتمد على الترسيب النادر الذي يحتفظ - بسبب نوعية الصخر والعمليات الكيميائية المعقدة المتضمَّنة في توضعه - بالتفاصيل المعقدة للبقايا العضوية. ويطلق على هذه الترسيبات «لاجِرْستاتِن»، وهي كلمة ألمانية معناها «المناطق أو القنوات الرئيسية» أو «المناطق الأم». إن المنطقة الرئيسية التي تحتفظ بنسيج لين تعتبر ندرة مثيرة، لا نعرف منها سوى بضع عشرات مبعثرة على سطح الأرض. لعل أشهرها راسب حجر سولنوفن الكلسي (الجيري) بألمانيا، الذي يحوي عينات تحتفظ بريشها عمرها 150 مليون سنة لطائر الأركيوبتيركس الذي يعتبر عامة أول أحفورة للطيور. وفي كولومبيا البريطانية يُظهر طفل «بورگس شيل»، وهي رواسب أقدم اكتسبت شهرتها من كتابات <G .S. گولد>[1]، وفرة من كائنات عجيبة لينة الجسم من المحيطات القديمة للعصر الكامبري.

لقد قدمت إحدى المناطق الرئيسية الأقدم من طفل بورگس، في منطقة تشنجيانج بإقليم يونّان بالصين اكتشافات مهمة حديثة كثيرة عن كائنات لينة مميزة أيضا للانفجار الكامبري. وكما في بقع عديدة على الكوكب، تؤوي مناطق إبدياكارا - التي سميت باسم جبال إيدياكارا الأسترالية التي وجد فيها أول مثال - أحافير غريبة لينة الجسم لما قبل العصر الكامبري وجحورا وملاجئ حيوانية تضم دليلا على متماثلات للجانبين مبكرة.

ومما يدعو إلى الدهشة أن مجموعتين من علماء البيولوجيا الأحفورية أعلنتا عام 1998 عثورهما على أحافير تحتفظ بنسيج لينة واضحة في منطقة رئيسية أخرى هي **تكوينات دوشانتو** Doushantuo Formation في إقليم گويزو بجنوب الصين. وتحتوي هذ. الرواسب على إسفنجيات دقيقة لينة لجسم ولاسعات وبعض البيوض والأجنة الصغيرة جدا. ويتكون الراسب الذي توجد فيه من معدن فوسفات الكالسيوم (الأباتيت) الذي حل بدقة شديدة محل النسج اللينة لهذه الأحافير. وتوضح الدراسات الأخيرة أن هذه الصخور أقدم من أحياء إيدياكارا بما يقرب من 580 إلى 600 مليون سنة، ومن ثم فإن الأحافير الدقيقة التي تحويها قد عاشت ما يراوح بين 40 و 50 مليون سنة قبل العصر الكامبري.

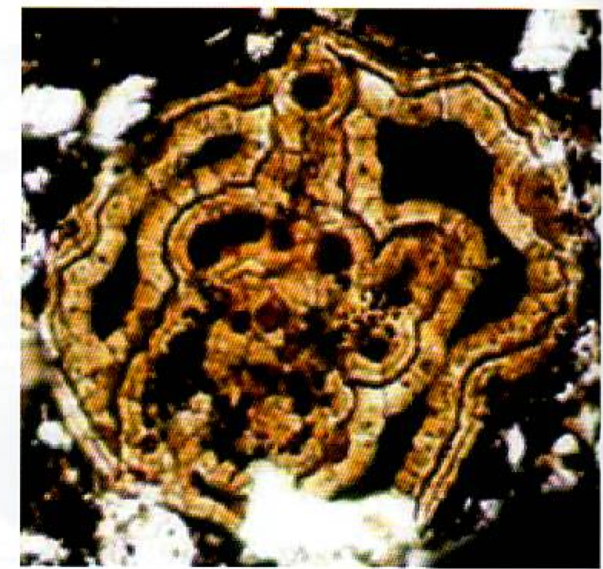
إذًا هيّا بنا إلى الصين(*)

سرعان ما تحقق المهتمون منا بنشوء الحيوانات من أن تكوينات دوشانتو قد تكون هي النافذة التي نلقي منها نظرة خاطفة على الحياة المبكرة لمتماثلة الجانبين. وهكذا تجمع فريق منا في خريف 1999، بإلحاح من <E. دافيدسون> [عالم البيولوجيا الجزيئية بمعهد كاليفورنيا للتقانة] لدراسة الأحافير الدقيقة في دوشانتو، وقد ضم الفريق أيضا <تشن> و <Y.-Ch. لي> اللذين كانا ضمن أوائل الباحثين الذين وصفوا البيوض والأجنة في تكوينات دوشانتو. ويعتبر <لي> [وهو أستاذ في جامعة تسنج هوا الوطنية] خبيرا في التمعدن الحيوي، أما <تشن> فله خبرة طويلة في دراسة الحياة المبكرة للحيوان من خلال عمله الرائد عن المنطقة الرئيسية في تشنجيانج في العصر الكامبري الأسفل.

أومأت مجساتنا الأولية إلى أن طبقة

(*) And So to China

(1) انظر: "The Evolution of Life on Earth," Scientific American, October 1994.



فم
ميزودرم
إكتودرم
نقر سطحية
سيلوم
إندودرم
منطقة الشرج
معًى
سيلوم

أفضل عينة محفوظة من «ڤرنانيمالكيولا» تظهر في الصورة *في اليمين*. وتتضح فيها الخصائص التشخيصية لحيوان متماثل جانبيا: جسم متعدد الطبقات، بتجاويف مزدوجة تسمى السيبلومات، وفم ومعى. ويظهر *الرسم في اليسار* المعالم المميزة [الشرج غير محفوظ في هذه العينة، وموضعه محدد على أساس ما هو موجود في عينات أخرى].

رسوبية رقيقة نسبيا سوداء اللون قد تكون هي الواعدة في اكتشاف مجموعة متنوعة من الأحافير الدقيقة. واستخدم باحثون آخرون في الموقع نفسه الأحماض لإذابة المادة الخلالية للأحجار في المختبر. ولسوء الحظ كانت تقنية الإذابة بالحمض غير ناجحة مع طبقة الصخر السوداء التي هدفنا إليها، وعلى ذلك اتجهنا إلى وسيلة أخرى: لقد جمعنا أكواما كبيرة من هذا الصخر الأسود وأحضرناها إلى مختبر «تشن» في مركز أبحاث الحياة المبكرة بمعهد نانينغ للجيولوجيا والأحافير في إقليم يونان المجاور، حيث كانت تتجه شاحنة النفايات عندما أعلن «تشن» نبوءته عن متماثل للجانبين.

وفي إقليم يونان، حيث عدنا بصخورنا، قمنا بتقطيع العينات إلى آلاف المقاطع الرقيقة جدا لدرجة الشفافية والتي عند وضعها على شرائح زجاجية يمكن فحصها تحت المجهر. لقد جهزنا أكثر من 10 000 من هذه الشرائح، وهو عمل ضخم ألقى «تشن» ومساعدوه أنفسهم فيه بتفاؤل ونشاط. لقد استغرق التحليل الجاد لآلاف الشرائح عدة سنوات وأظهر أعدادا ضخمة من البيوض والأجنة وأكد وجود إسفنجيات يافعة دقيقة ولاسعات كان قد سبق الإعلان عن وجودها.

ولكن بطبيعة الحال كانت بؤرة اهتمامنا في البحث هي متماثلات الجانبين، فهل تضمنت حصيلتنا في شاحنة النفايات إحداها؟ في صيف عام 2003 بدأنا بالتركيز على أحد أنواع الأحافير الدقيقة التي أثارت اهتمامَنا خصائصُها المورفولوجية المعقدة. وقد استطعنا تحديد عشرة أمثلة من هذا النوع بين عشرة آلاف شريحة. وفي أوائل عام 2004، وبعد شهور من التحاليل، استطعنا أن نستنتج أن هذا الكائن الدقيق يبدي الخصائص الأساسية لمتماثل الجانبين، وهذا ما كنا نبحث عنه!

تُعد هذه الأحافير المجهرية التي يراوح عرضها بين 100 و 200 ميكرون، وهو عرض بضع شعرات آدمية، معقدة إلى حد يدعو إلى الدهشة وتكاد تشكل مثالا في أحد الكتب المرجعية لمتماثل الجانبين متضمنا الطبقات النسيجية الرئيسية الثلاث (الإندودرم والميزودرم والإكتودرم المعروفة من كتب البيولوجيا بالمدارس الثانوية)، ووجود معى بفم وشرج، وتجويفين للجسم يحيطان بالمعى. ولعل هذا المخلوق البيضاوي الشكل الذي يشبه قرصا صمغيا صغيرا، كان ينطلق على قاع البحر ليتغذى. وفي أحد طرفي الشكل البيضاوي كان الفم يمتص الميكروبات كالمكنسة الكهربائية، وربما كانت النُّقر على جانبي الفم أعضاء حسية.

لقد أطلقنا على ما وجدناه اسم ڤِرْنانيمالكيولا vernanimalculo وتعني «الحُيَيْوِين الربيعي»، ويشير الاسم إلى الشتاء الطويل لـ«كرة الأرض الثلجية»، عندما غطت الثالج الكوكب(1)؛ والصخور المحتوية على الحييوين الربيعي تعلو قليلا الصخور التي تحدد الحدَث الجليدي الأخير.

تراث حيوان ربيعي صغير(*)

يدل التعقيد البيولوجي الموجود في ڤرنانيمالكيولا على فترة من التطور ظهرت

(*) Legacy of a Small Spring Animal

(1) انظر: *"Snowball Earth,"* by Paul F. Haffman - Daniell P. Schrage; *Scientific American*, January 2000.

مكان أحفورة ضئيلة في التاريخ(*)

كان المعتقد سابقا أن تطور حياة الحيوان المعقدة قد بدأ بحركة مفاجئة أثناء العصر الكامبري المبكر، وهو حَدَثٌ عادة ما يشار إليه بالانفجار الكامبري. بيد أن اكتشاف الحُيَيْوِين الربيعي المجهري عام 2004 بوساطة المؤلف وزملائه يدفع بنشأة الحياة المعقدة للحيوان إلى الوراء بنحو 50 مليون سنة قبل العصر الكامبري.



قبل 4.5 بليون سنة
تكونت الأرض.

قبل 3.5 بليون سنة
تكونت الميكروبات الوحيدة الخلية والوسائد الميكروبية.

خيوط ميكروبية



قبل 1.2 بليون سنة
نشأت الحياة المعقدة العديدة الخلايا الباكرة.

بانجيومورفا



قبل 580 إلى 600 مليون سنة
بدأت أقدم متماثلات الجانبين المعروفة بتغطية قاع البحر.

الحُيَيْوِين الربيعي



قبل 555 مليون سنة
نشأت متماثلات الجانبين الكبيرة.

كمبيريلا



قبل 542 مليون سنة
بدأ الانفجار الكامبري.

أنومالوكاريس



العصر ما قبل الكامبري | العصر الكامبري

طويلا قبل دنيا الـ580-600 مليون سنة التي عاش فيها هذا الحيوان الدقيق. وعلى أية حال، لم يكن بمستطاعه أن يكتسب هذه الدرجة من التماثل والتعقيد بشكل فجائي. وعلينا حاليا أن نبحث عن مناطق رئيسية أقدم قد تحوي مفاتيح عن أسلافه.

وعلينا أيضا أن نتحرك زمنيا للأمام في محاولة لفك طلاسم ما حدث لسلالاته. إن ما نعرفه عن الحياة أثناء الفجوة بين الحُيَيْوين الربيعي ومخلوقات الانفجار الكامبري بعد ذلك بنحو 40 إلى 55 مليون سنة، يأتي مبدئيا من دراسات المناطق الرئيسية التي تحتوي على أحياء الإيدياكارا، وهي **طَبْعات** impression **وقوالب** casts لكائنات لينة الجسم كانت أكبر إلى حد مقبول من الحُيَيوين الربيعي تراوح في أحجامها بين السنتيمترات وتبلغ حتى متر. وقد أكدت اكتشافات حديثة لـ<G. ناوبون> وزملائه [من جامعة كوين بأونتاريو] وجودَ هذه الحيوانات منذ نحو 575 مليون سنة؛ بيد أننا لا نجد أحافير تمثل متماثلات الجانبين إلا في أمثلة

المعنى الحقيقي للانفجار الكامبري(**)

يعتبر الانفجار الكامبري عامة زيادة مفاجئة في أنواع الحيوانات المتماثلة الجانبين ـ التي تتوازن فيها الأطراف والأعضاء بين الجانبين الأيمن والأيسر. إلا أن القصة أكثر تعقيدا وأكثر إثارة من ذلك. لقد أظهرت الدراسات الحديثة أن تفاعلات سريعة ومفاجئة بين الحيوانات قد أدت دورا كبيرا في هذه الزيادة في التنوع.

أولا، بدأت الحيوانات بتغيير البيئة، وخلقت الظروف الجديدة الفرص والحواجز، كليهما، للحيوانات الأخرى المقيمة في الدنيا القديمة. فعلى سبيل المثال، تكيفت حيوانات ما قبل العصر الكامبري، التي عاشت على قاع البحر، للحركة على الوسائد الميكروبية الوثيرة التي غطت معظم قعر المحيطات وكانت جزءا من النظام البيئي منذ نشأت الحياة. وفي بداية العصر الكامبري (الذي استمر ما يراوح بين 542 و 588 مليون سنة مضت)، مكنت الإبداعات التطورية الحيوانات المتماثلة الجانبين من الحفر عموديا في الرواسب، وأدى الحفر إلى تدمير الوسائد الوثيرة السائدة وحل محلها سطح غير ثابت جسائي القوام. وفي مقابل ذلك تفاعلت كائنات أخرى لهذه الزيادة في التعكير الحيوي بتطوير تكيفات للمعيشة في البيئات الجديدة.

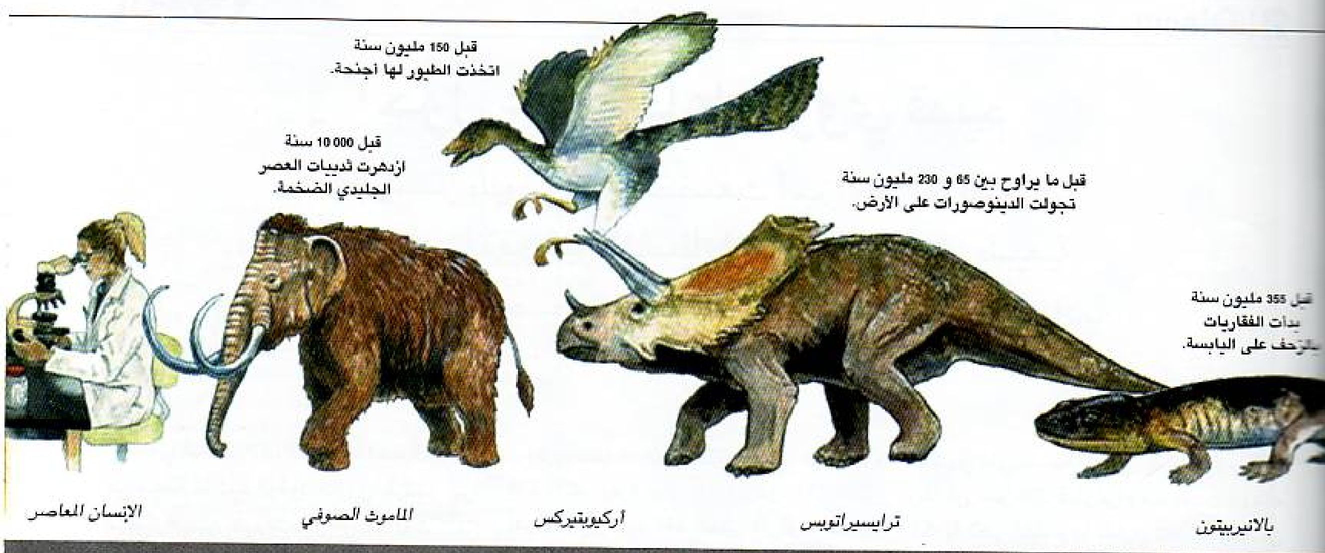
ثانيا، يحدد العصر الكامبري المبكر الزمن الذي اكتشف فيه علماء الأحافير البيولوجيون أول ظهور للمفترسات المتماثلة الجانبين التي تطورت لالتهام الحيوانات الأخرى. وعلى سبيل المثال، سجل <Y-Y. تشن> و<D. Y. هوانج> [من الأكاديمية الصينية للعلوم في نانينج] مع آخرين بضعة أنواع جديدة من المفترسات من منطقة تشنجيانج الرئيسية في الصين، وتضم هذه الأنواع مفصليات أرجل بزوائد أمامية غريبة لاصطياد الفريسة (أسفل)، وديدانا حفارة تحركت تحت سطح قعر البحر وتغذت بحيوانات أخرى صغيرة.

لقد أدت هذه التفاعلات البيولوجية دورا قويا في التطور المبكر للحيوانات، وعلى الرغم من ذلك ـ كما ذهبت إليه <C. مارشال> [من جامعة هارفارد] وكما تدعمه مكتشفاتنا ـ فإن عُدة الأدوات الوراثية وميكانيكية تكوين النمط المميزة لمتماثلة الجانبين، قد نشأت غالبا مع الانفجار الكامبري. وعلى ذلك «انفجار» الطُرُز الحيوانية كان، بمعنى أدق، استثمارا للظروف الجديدة بوساطة الحيوانات التي طورت أدواتها الوراثية للاستفادة من هذه البيئات الجديدة أكثر منه تغييرا أساسيا في التركيبة الوراثية للحيوانات.

<D.J.B.>

الحيوان المفترس الباكر هايكوكارس
[يبلغ نحو أربعة سنتيمترات طولا].





العصور اللاحقة

عمرها 555 مليون سنة أو أصغر. وعلى النقيض من الحيوين الربيعي المتناهي الصغر كانت هذه المتماثلات الجانبين من الإيدياكارا كائنات تُرى بالعين المجردة مثل كمبيريلا، وهو كائن لين الجسم يعيش في البحار يبلغ طوله نحو 10 سم، وربما كان سلفا للرخويات التي تضم اليوم في البحار الأصداف والقواقع والحُبار. ولسوء الحظ لم تظهر أي من رواسب الإيدياكارا التي اكتشفناها حتى الآن الخلفية المعدنية الضرورية للحفاظ على المخلوقات المجهرية. ولكي نعرف ما إذا كانت متماثلات الجانبين المجهرية قد عاشت جنبا إلى جنب مع مخلوقات الإيدياكارا الأكبر حجما، لا بد أن نجد رواسب لأحافير من عمر الإيدياكارا لها الحفظ نفسه الموجود في مكونات دوشانتو الأقدم عمرا.

وعلى الرغم من أنه لا يمكننا حتى الآن أن نقتفي أثر أسلاف الحُيَيْوين الربيعي وسلالاته، فقد أظهرت هذه الأحافير الدقيقة خطوة دقيقة في التطور؛ فهي تبين أن متماثلات الجانبين كانت لها القدرة على تكوين أجسام معقدة قبل أن تكون لها القدرة على تكوين أجسام أكبر حجما.

ويتفكر العلماء حاليا فيما أدى إلى الزيادة في حجم الأجسام. والتفسير الأقرب إلى ذلك هو أن زيادة كبيرة في الأكسجين الذائب في مياه البحر هي الدافع إلى ذلك، فالأكسجين الزائد للتنفس يقلل من القيود المفروضة على الحجم.

لا شك في أن الحُيَيْوين الربيعي يعطي علماء الأحافير دوافع جديدة للخروج للبحث عن أحافير لحيوانات لينة الجسم. ومازال أمامنا الكثير لنتعلمه، إلا أن الدراسة حتى الآن تعطينا الدليل على شكنا من قبل في أن الحيوانات المعقدة لها جذور أعمق في التاريخ، مما يشير إلى أن العصر الكامبري كان، بدرجة أقل انفجارا، وبدرجة أكبر ازدهارا للحياة الحيوانية. ■

المؤلف

David J. Bottjer

هو عالم أحافير ركّز أبحاثه على أصل الحيوانات وتاريخها التطوري اللاحق على الأرض. ولقد دخل إلى هذا الموضوع بأسلوب بيّن تخصصي، أدى به إلى التعاون مع زملاء متمرسين في البيولوجيا النمائية (التطورية) والبيولوجيا الجزيئية والمعلوماتية والكيمياء الجيولوجية. حصل على الدكتوراه في الجيولوجيا من جامعة إنديانا؛ وهو حاليا أستاذ للعلوم الجيولوجية والبيولوجية في جامعة ساذرن كاليفورنيا، ورئيس للجمعية الباليونتولوجية (2004-2006) ورئيس تحرير دورية Palaeogeography, Palloclimatology, Palaeoecology (علوم الجغرافيا والمناخ والإيكولوجيا القديمة).

مراجع للاستزادة

Cradle of Life: The Discovery of Earth's Earliest Fossils. J. William Schopf. Princeton University Press, 2001.

Evolution: The Triumph of an Idea. Carl Zimmer. Perennial (HarperCollins), 2002.

Life on a Young Planet: The First Three Billion Years of Evolution on Earth. Andrew H. Knoll. Princeton University Press, 2003.

On the Origin of Phyla. James W. Valentine. University of Chicago Press, 2004.

University of California, Berkeley, Museum of Paleontology Web site: www.ucmp.berkeley.edu

Scientific American, August 2005



حول عمل مفاعل نووي قديم(*)

قبل نحو بليوني عام، خضعت أجزاء من توضعات اليورانيوم الإفريقية لانشطارات نووية بعوامل طبيعية. وقد بدأت للتو تتضح تفاصيل هذه الظاهرة غير الاعتيادية.

<A .P> ميشيك

في الشهر 1972/5، لاحظ أحد العاملين في محطة معالجة الوقود النووي بفرنسا أمرا مريبا؛ إذ كان يقوم بتحليل روتيني لعينات من اليورانيوم المستمد من خامة مصدرها كما يبدو اعتيادي. وكما هي الحال مع اليورانيوم الطبيعي، فإن العينات المحللة تضمنت ثلاثة **نظائر** isotopes ـ أي، ثلاثة أنماط ذات كتل ذرية atomic masses مختلفة وهي: اليورانيوم 238 الأكثر وفرة بينها، واليورانيوم 234 الأكثر ندرة، واليورانيوم 235 النظير المرغوب لتحقيق **التفاعل النووي المتسلسل** nuclear chain reaction. وسواء كان ذلك في أي مكان من قشرة الأرض أو على سطح القمر أو حتى في النيازك المتساقطة، تشكل ذرات اليورانيوم 235نسبة 0.720 في المئة من الإجمالي. ولكن في العينات التي أُحضرت من **توضعات** (**مكامن**) deposit أوكلو في الكابون (المستعمرة الفرنسية سابقا في غرب إفريقيا الاستوائية)، وُجِد أن نسبة اليورانيوم 235 كانت 0.717 في المئة فقط. وكان هذا الاختلاف الضئيل كافيا لتنبيه العلماء الفرنسيين على أن شيئا غريبا قد حصل. فقد أظهرت التحاليل الإضافية أن الخامة الواردة من أحد مواقع المنجم كانت تحتوي على نسبة أقل من اليورانيوم 235، وبدا أن نحو 200 كيلوغرام قد فُقدت ـ وهذه الكمية تكفي لصنع ما يقارب نصف دزينة من القنابل النووية.

بقي المختصون في هيئة الطاقة الذرية الفرنسية (CEA) مذهولين لأسابيع. ولم يأت الجواب إلا عندما تذكر أحدهم نبوءة نُشرت قبل 19 عاما. ففي عام 1953، أشار العالمان <W .G. وذريل> [من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس] و<M .G. إنگرام> [من جامعة شيكاغو] إلى احتمال أن تكون بعض توضعات اليورانيوم قد عملت مرة كنموذج طبيعي لمفاعلات الانشطار النووية، التي صارت شائعة حينذاك. وبُعيد ذلك، استطاع العالم الكيميائي <P .K. كورودا> [من جامعة أركنساس] حساب احتياجات جسم من خامة اليورانيوم لكي يخضع **لانشطار تلقائي مستدام ذاتيا** self-sustained fission. وفي هذه العملية، يتسبب نترون شارد في انقسام نواة اليورانيوم 235، التي تعطي نترونات أكثر تؤدي بدورها إلى انقسام ذرات أخرى في تفاعل نووي تسلسلي.

لقد كان شرط <كورودا> الأول أن تزيد أبعاد توضعات اليورانيوم عن **الطول الوسطي** average length الذي تجتازه النترونات المسببة للانشطار، وهو تقريبا ثلثا المتر. ويساعد هذا المطلب على ضمان أن النترونات التي تمنحها نواة منشطرة واحدة سوف تُمْتَص من نواة أخرى قبل أن تهرب من **عِرق اليورانيوم** uranium vein.

والشرط الثاني أن يتوافر اليورانيوم 235 بشكل كاف. وفي أيامنا هذه لا تستطيع حتى

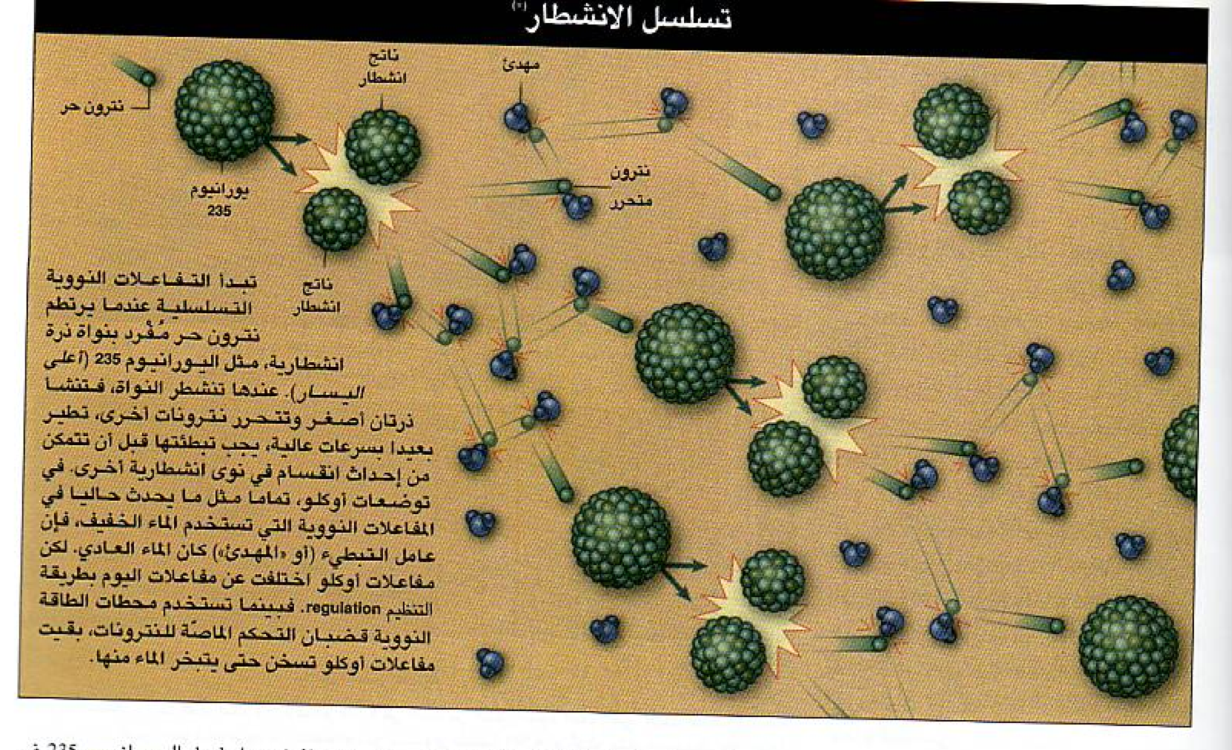
عُثر على مفاعلات انشطار طبيعية في «الكابون» فقط، بمنجم لليورانيوم في أوكلو وبمناجم أوكلوبوندو المتاخمة، وفي موقع يبعد 35 كيلومترا عنهما يسمى بانكومبي.

نظرة إجمالية/ المفاعلات الأحفورية(**)

- قبل ثلاثة عقود، اكتشف علماء فرنسيون أن أجزاء من توضعات اليورانيوم التي جرى تعدينها في الكابون قد عملت منذ زمن بعيد عمل مفاعلات نووية طبيعية.
- استعمل المؤلف وزملاؤه مؤخرا قياسات غاز الزينون (أحد نواتج انشطار اليورانيوم) لاستقراء أن أحد هذه المفاعلات القديمة قد عمل وفقا لدورة تشغيل (نبضية) تتكون من نصف ساعة عمل مقابل ما لا يقل عن ساعتين ونصف من التوقف.
- قد يكشف مزيد من دراسات الزينون المحتجز ضمن المعادن نشوء مفاعلات نووية طبيعية في أمكنة أخرى. ولكن في الوقت الحالي، تبقى النماذج المكتشفة في الكابون إطلالات فريدة على التغيرات الممكنة في الثوابت الفيزيائية الأساسية وعلى كيفية هجرة النفايات النووية المطمورة عبر الزمن.

(*) THE WORKINGS OF AN ANCIENT NUCLER REACTOR
(**) Overview / Fossil Reactors

تسلسل الانشطار(*)



تبدأ التفاعلات النووية التسلسلية عندما يرتطم نترون حر مُفرد بنواة ذرة انشطارية، مثل اليورانيوم 235 (*أعلى اليسار*). عندها تنشطر النواة، فتنشأ ذرتان أصغر وتتحرر نترونات أخرى، تطير بعيدا بسرعات عالية، يجب تبطئتها قبل أن تتمكن من إحداث انقسام في نوى انشطارية أخرى. في توضعات أوكلو، تماما مثل ما يحدث حاليا في المفاعلات النووية التي تستخدم الماء الخفيف، فإن عامل التبطيء (أو «المهدئ») كان الماء العادي. لكن مفاعلات أوكلو اختلفت عن مفاعلات اليوم بطريقة التنظيم regulation. فبينما تستخدم محطات الطاقة النووية قضبان التحكم الماصّة للنترونات، بقيت مفاعلات أوكلو تسخن حتى يتبخر الماء منها.

أكثر توضّعات اليورانيوم ضخامة وتركيزا أن تصبح مفاعلا نوويا، لأن تركيز اليورانيوم 235، أقل من 1 في المئة، منخفض جدا. لكن هذا النظير مشعّ وتفككه أسرع بنحو ست مرات من تفكك اليورانيوم 238، مما يشير إلى أن الجزء الانشطاري كان أعلى في الماضي البعيد. وعلى سبيل المثال، قبل بليوني عام (تقريبا من بدء تشكل توضعات أوكلو) وجب أن يكون اليورانيوم 235 قد شكّل نسبة تقارب 3 في المئة، وهي تقريبا المستوى الذي يتم الوصول إليه صُنعيا باليورانيوم المخصب enriched، المستخدم وقودا في غالبية محطات الطاقة النووية.

والمكوّن الثالث المهم هو «مُهَدِّئ» النترونات، وهو مادة تستطيع إبطاء النترونات الناتجة عند انقسام نوى اليورانيوم بحيث تصبح هذه النترونات أكثر ملاءمة لإحداث انقسامات في نوى اليورانيوم الأخرى. أخيرا، يتوجب عدم وجود كميات كبيرة من البورون أو الليثيوم أو مواد أخرى تدعى السموم، التي تمتص النترونات وتتسبب في إيقاف أي تفاعل نووي.

وللغرابة، فإن الشروط الواقعية التي سادت قبل بليوني عام في 16 موقعا منفصلا حددها الباحثون ضمن مناجم اليورانيوم في أوكلو وقرب أوكلوبوندو كانت قريبة جدا مما وصَفَه <كورودا>. وقبل عقود جرى تعرُّف كافة هذه المناطق. ولكنه مؤخرا فقط أوضحتُ وزملائي التفاصيل الكبرى لما حدث بالتحديد داخل واحد من هذه المفاعلات القديمة.

البرهان موجود في العناصر الخفيفة(**)

أكد الفيزيائيون الفكرة الأساس وهي أن التفاعلات الانشطارية الطبيعية كانت مسؤولة عن استنفاد depletion اليورانيوم 235 في أوكلو مباشرة بعد اكتشاف اليورانيوم الشاذ anomalous؛ ومن ثم أتى البرهان القاطع جراء اختبار العناصر الجديدة الأخف التي تنشأ عند انقسام النواة الثقيلة؛ إذ تبيّن أن وفرة نواتج الانشطار كانت كبيرة بحيث لا يمكن وضع أي استنتاج آخر. ومن ثم فإن تفاعلا نوويا تسلسليا ذاتي المنشأ يشابه تماما ذلك الذي أثبته <E. فرمي> وزملاؤه في عام 1942 قد حدث مؤكدا قبل نحو بليوني عام.

وبُعيد هذا الاكتشاف المدهش بقليل، عكف الفيزيائيون من مختلف أنحاء العالم على دراسة الدليل عن هذه المفاعلات النووية الطبيعية، ثم جاؤوا للإسهام بأعمالهم حول «ظاهرة أوكلو» في مؤتمر خاص عقد في ليبرڤيل، عاصمة الكابون، عام 1975. وفي السنة التالية، كتب <A. G. كووان> [ممثل الولايات المتحدة في ذاك المؤتمر؛ وهو، بالمصادفة، أحد مؤسسي معهد سانتا فيه الشهير، ولا يزال منتسبا له] مقالة لمجلة *ساينتفيك أمريكان*(1) شرح فيها ما ساور العلماء من ظنون حول عمل هذه المفاعلات القديمة.

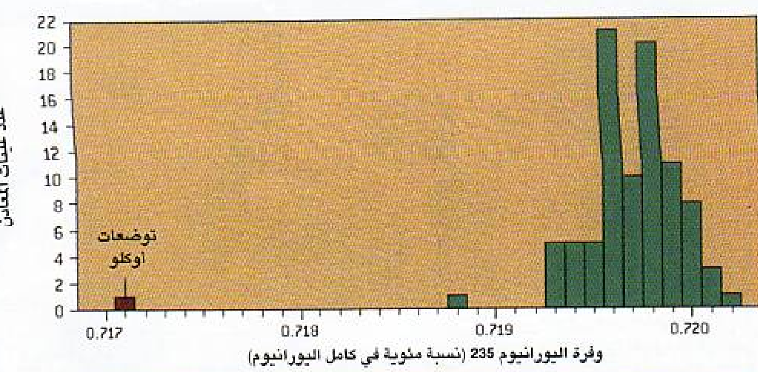
على سبيل المثال، وصف <كووان> كيف أن بعض النترونات المتحررة أثناء انشطار

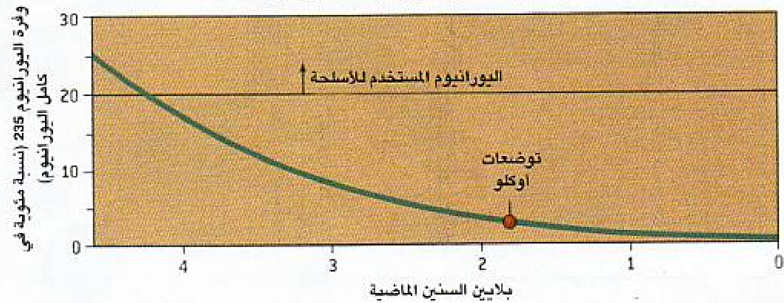
أظهر التعدين المكشوف (السطحي) لتوضعات اليورانيوم في منجم أوكلو بالكابون أكثر من دزينة من المواقع حدث فيها انشطار نووي ذات مرة.

(*) Fission Up Close

(**) Proof in the Light Elements

(1) انظر: "*Natural Fission Reactor*," by George A. Cowan; *Scientific American*, July 1976.





عموما، تُشكِّل ذرات اليورانيوم 235 نحو 0.720 في المئة من اليورانيوم الطبيعي. لذلك، عندما اكتشف العاملون أن اليورانيوم المأخوذ من منجم أوكلو يحتوي نسبة 0.717 أو أكثر بشيء بسيط، حُق لهم أن يذهلوا. فهذه النسبة تقع في الواقع بعيدة خارج المجال المعهود لمعادن اليورانيوم الأخرى (أعلى). وتفسير ذلك أن نسبة اليورانيوم 235 إلى اليورانيوم 238 كانت في الماضي أكبر بكثير، كما يمكن استقراء ذلك من عمر النصف لليورانيوم 235 الأشد قصرا. وقد سمحت هذه النسبة المرتفعة بحدوث الانشطار، الذي استهلك معظم اليورانيوم 235. عندما تشكلت توضعات أوكلو قبل 1.8 بليون عام، كان المستوى الطبيعي لليورانيوم 235 نحو 3 في المئة ـ وهي تشابه النسبة التي يُصنع بها حاليا معظم أنواع وقود المفاعلات النووية. في البداية، عندما تشكلت الأرض قبل نحو 4.6 بليون عام، تجاوزت النسبة قيمة 20 في المئة، وهو مستوى يَعتبر اليوم اليورانيوم قابلا للاستعمال سلاحا نوويا.

استطاعت مفاعلات أوكلو الحفاظ على قدرة خرج بسيطة ربما لبضع مئات آلاف السنين.

اليورانيوم 235 يتم أسرها من اليورانيوم 238 الأكثر وفرة، فيتحول إلى اليورانيوم 239، الذي بدوره يتحول إلى البلوتونيوم 239 بعد إصدار إلكترونين اثنين. وقد تولّد أكثر من طنين من نظير البلوتونيوم هذا ضمن توضعات أوكلو. ومع أن معظم هذه المادة ـ ذات **عمر نصفي** half-life يبلغ 24 000 سنة ـ قد تتلاشى (بسبب التفكك الإشعاعي الطبيعي بشكل رئيسي)، فقد خضع بعض هذا البلوتونيوم للانشطار، كما يشهد على ذلك وجود نواتج انشطاره المميزة. وقد سمحت وفرة العناصر الخفيفة هذه للعلماء بالاستدلال على أن تفاعلات انشطارية قد استمرت لمئات آلاف السنين. كما استطاع العلماء من كمية اليورانيوم 235 المستهلكة، حساب **الطاقة** energy الإجمالية المحررة فكانت 15 000 ميغاواط/ سنة، ومنها (إضافة إلى البراهين الأخرى) تمكنوا من معرفة **القدرة** power الوسطية المُنتَجة، التي كانت على الأرجح أقل من 100 كيلوواط ـ ما يكفي لتشغيل بضع دزينات من محمِّصات الخبز.

إنه لمذهل حقا أن تبرز للوجود عفويا أكثر من دزينة من المفاعلات الطبيعية وأن تستطيع الحفاظ على قدرة خرج بسيطة ربما لبضع مئات آلاف السنين. فلماذا لم تنفجر هذه الأجزاء من التوضعات وتدمر ذاتها مباشرة بعد حدوث التفاعلات النووية التسلسلية؟ ما هي الآلية التي أتاحت **التنظيم الذاتي** self-regulation الضروري؟ هل عملت هذه المفاعلات بشكل مستمر أم على نحو متقطع؟ ظهرت حلول هذه الأحجيات رويدا رويدا بعد الاكتشاف الأولي لظاهرة أوكلو. وفي الواقع، تأخرت الإجابة عن السؤال الأخير لأكثر من ثلاثة عقود قبل أن أبدأ وزملائي [في جامعة واشنطن بسانت لويس] الانكباب عليه عن طريق فحص قطعة من هذه الخامة الإفريقية المبهمة.

ظواهر الغازات النبيلة(*)

تمحور عملنا مؤخرا حول أحد مفاعلات أوكلو حول تحليل الزينون، وهو غاز ثقيل وخامل، يمكنه البقاء محبوسا ضمن المعادن لبلايين السنين. يمتلك الزينون تسعة نظائر مستقرة تنتج، في نسب متباينة، من عمليات نووية مختلفة. ولكونه غازا نبيلا، فإنه يقاوم الارتباط الكيميائي بالعناصر الأخرى. ولهذا، فمن السهل تنقيته لإجراء **التحليل النظيري** isotopic analysis. فالزينون عنصر نادر جدا، مما يمكّن العلماء من استعماله لكشف التفاعلات النووية واقتفائها، بما في ذلك تلك التي حدثت في النيازك البدائية قبل نشوء النظام الشمسي.

ويلزم لتحليل التركيب النظيري للزينون **مطياف الكتلة** mass spectrometer، وهو أداة يمكنها فصل الذرات بالاعتماد على أوزانها الذرية. وقد كنت محظوظا أن يتاح لي العمل على مطياف كتلة ذي دقة عالية للزينون، وقد ركّبه زميلي <M.C.> هوهنبرگ> [من جامعة واشنطن]. ولكن قبل استخدام جهازه، كان علينا استخلاص الزينون من عينتنا. عادة ما يقوم العلماء بتسخين المادة المُضيفة، غالبا فوق درجة حرارة الانصهار، بحيث تفقد الصخرة بنيتها البلّورية وتصبح غير قادرة على الحفاظ على مخزونها من الزينون المختبئ فيها. ولفهم المزيد من المعلومات حول نشوء هذا الغاز واحتباسه، تبنّينا طريقة أكثر رهافة، تدعى **الاستخلاص الليزري** laser extraction، وتتسبب في انبعاث الزينون انتقائيا من حبة معدنية وحيدة، مع عدم المساس بالمناطق المجاورة لها.

طبقنا هذه التقنية على العديد من البقع الصغيرة في العينة الوحيدة المتاحة لنا من صخرة أوكلو بسمك مليمتر واحد وبقطر أربعة مليمترات. وبالطبع، احتجنا في البداية إلى أن نقرر أين نوجّه الحزمة الليزرية. هنا، اعتمدتُ و«هوهنبرگ» على زميلتنا <O. پراڤديڤتسڤا>، التي سبق أن شكلت لعينتنا خريطة مفصّلة بالأشعة السينية وتعرّفت مكوناتها المعدنية. وبعد

(*) Noble-Gas Ephphanies

كل عملية استخلاص، قمنا بتنقية الغاز الناجم ومرّرنا الزينون في مطياف هوهنبرك الكتلي، الذي بيّن عدد الذرات لكل نظير متواجد.

كانت المفاجأة الأولى هي تموضع الزينون؛ إذ لم يكن، كما كنا نتوقع، متوافرًا بشكل كبير في الحبّات المعدنية الغنية باليورانيوم. إنما كانت حصة الأسد منه حبيسة في **فسفات الألمنيوم** aluminum phosphate، التي لم تكن تحتوي إطلاقا على اليورانيوم. وعلى نحو لافت للنظر، أظهرت هذه الحبات أعلى تركيز للزينون وُجِد في أي مادة طبيعية على الإطلاق. وكانت الظاهرة الثانية أن الغاز المستخلص ذو تركيب نظائري مغاير بشكل جذري لذلك الذي تنتجه التفاعلات النووية في العادة. وبدا أنه فقد جزءا لا بأس به من الزينون 136 و 134، الذي كان بالتأكيد قد نشأ في الانشطار النووي، في حين تحولت النوعيات الأخف من العناصر بنحو أقل.

كيف يمكن لهذا التحول في التركيب النظيري أن يحدث؟ ليس بمقدور التفاعلات الكيميائية القيام بهذا العمل، لأن كافة النظائر متماثلة كيميائيا. ربما التفاعلات النووية، مثل **الأسر النتروني** neutron capture؟ فقد سمحت التحاليل الدقيقة لي ولزملائي برفض مثل هذه الفرضية أيضا. فكرنا أيضا في **التصنيف الفيزيائي** physical sorting الذي يحدث أحيانا للنظائر المختلفة؛ إذ تتحرك الذرات الأثقل ببطء أشد من نظيراتها الخفيفة فتستطيع الانفصال عنها. تعتمد محطات تخصيب اليورانيوم - وهي منشآت صناعية تستلزم مهارات كبيرة لبنائها - هذه الخاصية لإنتاج الوقود النووي. لكن، حتى لو استطاعت الطبيعة أن تنجز بإعجاز عملية مشابهة على **السلم المجهري** microscopic scale، لكان مزيج نظائر الزينون في حبات فسفات الألمنيوم الذي درسناه مختلفا عما وجدناه. على سبيل المثال، لدى قياس المزيج نسبة إلى كمية الزينون 132 المتوفرة، فإنه كان من المفترض أن يكون استنفاد الزينون 136 (كونه أثقل بأربع وحدات كتلة ذرية) مساويا ضعف الزينون 134 (الأثقل بوحدتي كتلة ذرية) لو كان ذلك بسبب التصنيف الفيزيائي. ولكننا لم نلحظ هذا النمط.

لقد تأكدَّ فهمنا لتركيب الزينون الشاذ فقط بعد أن فكرنا بعمق حول كيفية تشكل هذا الغاز. لم يكن أيّ من نظائر الزينون الذي قسناه نتيجة مباشرة لانشطار اليورانيوم، إنما كان نتاج تفكك نظائر اليود المشعة، والتي بدورها تشكلت من التلّوريوم المشع، وهكذا؛

من المرجح كثيرا أن تكون مفاعلات أوكلو قد عملت على نحو متقطع.

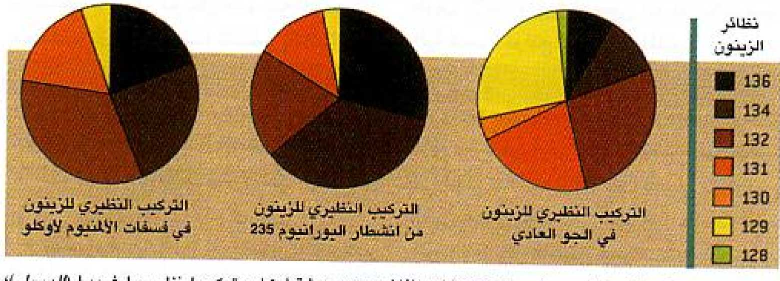
وفقا لتسلسل معروف من التفاعلات النووية التي تعتبر مصدرا للزينون المستقر.

كان فاتحة بصيرتنا إدراك أن نظائر الزينون المختلفة في عينة أوكلو التي بين أيدينا قد نشأت في أزمنة مختلفة - تبعا لجدول زمني اعتمد على أعمار النصف لآبائها من اليود وأجدادها من التلوريوم؛ إذ كلما عاش **سلف مشع** precursor مَعين مدة أطول تأخر تشكل الزينون منه. على سبيل المثال، بدأ إنتاج الزينون 136 في أوكلو بعد دقيقة واحدة فقط من بدء الانشطار المستدام ذاتيا. وبعد ساعة تشكل النظير التالي الأخف المستقر: الزينون 134. ومن ثم، وبعد عدّة أيام من بدء الانشطار، ظهر الزينون 132 و 131. وأخيرا، بعد مضي ملايين السنين، وبعد توقف التفاعلات النووية التسلسلية بزمن طويل، تشكل الزينون 129.

لو بقيت توضعات أوكلو منظومة مغلقة، لحافظ الزينون المتراكم أثناء عمل المفاعلات الطبيعية في هذه التوضعات على التركيب النظيري المعتاد الناتج من الانشطار. لكن، ليس هناك سبب يدعو العلماء إلى الاعتقاد أن المنظومة كانت مغلقة. وفي الواقع، كان هناك سبب وجيه للاشتباه بعكس ذلك؛ إذ جاء البرهان من القناعة بحقيقة بسيطة هي أن مفاعلات أوكلو استطاعت بطريقة ما أن تنظم نفسها ذاتيا. والآلية الأكثر ترجيحا هي تأثير المياه الجوفية، التي يُحتمل أنها تبخرت بعد أن وصلت درجة الحرارة إلى مستوى حرج. فبدون وجود الماء، الذي يعمل مهدئا للنترونات، كان من المفترض أن تتوقف التفاعلات النووية التسلسلية مؤقتا. ويعاود الانشطار من جديد فقط بعد أن يبرد الموقع وتنفذ مياه جوفية كافية ثانية إلى منطقة التفاعل.

تُبرز هذه الصورة حول احتمالية عمل مفاعلات أوكلو نقطتين مهمتين: أن الأكثر ترجيحا هو عمل المفاعلات على نحو من النبضات المتقطعة، وأنه كانت هناك كميات ضخمة من المياه تنساب بين الصخور - بشكل كاف لجرف بعض أسلاف للزينون من التلّوريوم واليود، القابلة للانحلال بالماء. ويساعد وجود الماء أيضا على توضيح سبب بقاء معظم الزينون حاليا ضمن حبات فسفات الألمنيوم بدلا من وجوده في المعادن الغنية باليورانيوم والتي تكونت فيها هذه الأسلاف المشعّة بسبب الانشطار. وبكل بساطة لم يهاجر الزينون من مجموعة المعادن الموجودة مسبقا إلى مجموعة أخرى - ومن غير المتوقع تواجد معادن فسفات الألمنيوم قبل أن تبدأ مفاعلات أوكلو بالعمل. وعلى نقيض ذلك، فلربما تشكلت حبات فسفات الألمنيوم في موقعها بفعل الماء **المسخّن نوويا** nuclear-heated، وحالما برد لدرجة حرارة 300 مئوية تقريبا.

لقد تم طرد معظم غاز الزينون (بما في ذلك الزينون 136 و 134، اللذان تولدا بسرعة نسبيا) خلال كل فترة من الفترات النشيطة لعمل مفاعل أوكلو وكذلك لبعض الوقت بعدها، مع بقاء درجة الحرارة مرتفعة. وعندما برد المفاعل، فإن أسلافا للزينون ذات أعمار النصف الأطول (التي ستنتج لاحقا الزينون 132 و 131 و 129، الذي وجدناه بوفرة نسبية) اندمجت مفضلّة الحبات النامية لفسفات



أظهر غاز الزينون المستخلص من معادن فسفات الألمنيوم من عينة أوكلو تركيبا نظيريا غريبا (*اليسار*)؛ وذلك بنمط لا يتماشى مع ما هو متوقع من انشطار اليورانيوم 235 (*المركز*)، ولا يتشابه مع التركيب النظيري للزينون الجوي (*اليمين*). ويلاحظ أن كمية الزينون 131 و 132 أعلى وأن كميات الزينون 134 و136 أقل مما هو متوقع من انشطار اليورانيوم 235. ومع أن هذه المشاهدات كانت في البداية محيرة جدا للمؤلف، فقد تحقق لاحقا من أنها المفتاح لفهم آلية عمل المفاعل النووي القديم.

الألمنيوم. بعدئذ، مع عودة مزيد من الماء إلى منطقة التفاعل، أصبحت النترونات مهدأة بشكل مناسب، فعاود الانشطار من جديد، سامحا لدورة التبريد والتسخين أن تتكرر. وكان نتيجة ذلك الانفصال الغريب لنظائر الزينون الذي أمطنا اللثام عنه.

ليس واضحا تماما ماهية القوى التي أبقت الزينون داخل معدن فسفات الألمنيوم لمدة تصل إلى نصف عمر الكرة الأرضية. وبشكل خاص، لماذا لم يُطرد الزينون، المتولّد خلال إحدى نبضات التشغيل، أثناء النبضة الثانية؟ من المحتمل أنه حُبس في البنية شبه القفصية لمعدن فسفات الألمنيوم، والتي استطاعت الإمساك بغاز الزينون المُتولد ضمنها، حتى عند درجات الحرارة العالية. تبقى التفاصيل غامضة، لكن ومهما تكن الإجابات النهائية، هناك أمر لا لبس فيه، وهو أن قدرة فسفات الألمنيوم على أسر الزينون مذهلة حقا.

برنامج الطبيعة التشغيلي(*)

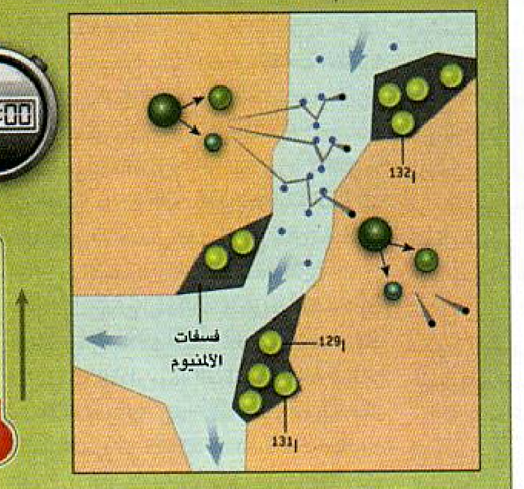
بعد أن استنبطتُ وزملائي بشكل عام كيف أن مجموعة نظائر الزينون قيد المراقبة قد نشأت ضمن حبات فسفات الألمنيوم، حاولنا أن ننمذج العملية رياضيا. لقد كشفت النمذجة هذه الكثير حول توقيت تشغيل المفاعل، وأتاحت كافة نظائر الزينون الجواب نفسه تقريبا. إن مفاعل أوكلو الذي درسناه قد عمل مدة 30 دقيقة ومن ثم توقف مدة لا تقل عن 2.5 ساعة. ولا يختلف هذا النمط عما يراه المرء في بعض الينابيع الحارة، التي تسخن ببطء، تغلي حتى يتبخر مخزونها من المياه الجوفية في مشهد مثير، ثم تعود فتمتلئ وتعاود الكرة يوما بعد يوم، وسنة بعد سنة. يدعم هذا التشابه الانطباع بأن المياه الجوفية المنسابة عبر توضعات أوكلو لم تكن مُهدئة للنترونات فحسب، بل كانت أيضا تتبخر بالغليان عند أزمنة أسهمت في تبيان التنظيم الذاتي الذي حمى هذه المفاعلات الطبيعية من الدمار. فقد تبين أن هذه الظاهرة كانت فعالة بشكل مذهل، إذ إنها لم تسمح بانصهار واحد أو انفجار واحد على مدى مئات آلاف السنين.

وللمرء أن يتخيل أن بإمكان المهندسين الذين يعملون في صناعة محطات الطاقة النووية تعلم شيء أو شيئين من مفاعل أوكلو. بالتأكيد يمكنهم ذلك، ربما ليس بالضرورة حول تصميم المفاعل. فالدروس

يكشف الزينون عن تشغيل دوري(**)

تطلبت الجهود لتبرير التركيب النظيري للزينون في أوكلو مراعاة العناصر الأخرى أيضا. فقد جذب اليود بالتحديد الانتباه، لأن الزينون ينشأ عن تفككه الإشعاعي. وقد أظهرت نمذجة نشوء نواتج الانشطار وتفككها الإشعاعي أن التركيب النظيري الغريب للزينون نجم عن التشغيل الدوري للمفاعل. توصف هذه الدورة في اللوحات الثلاث التي في *اليسار*.

3 بعد مرور ساعات، تنخفض درجة الحرارة بشكل كاف، مما سمح بعودة المياه الجوفية. انفصلت المواد التي كانت منحلّة في المياه الجوفية الساخنة مُشكلة معادن فسفات الألمنيوم التي تضم اليود 131 و 132 ـ أسلاف للزينون 131 و 132. (تستوعب هذه المعادن أيضا اليود 129، الذي يسهم في نشوء الزينون 129 بعد عدة ملايين من السنين.) ومع وجود المهدئ ثانية، بدأ الانشطار من جديد.



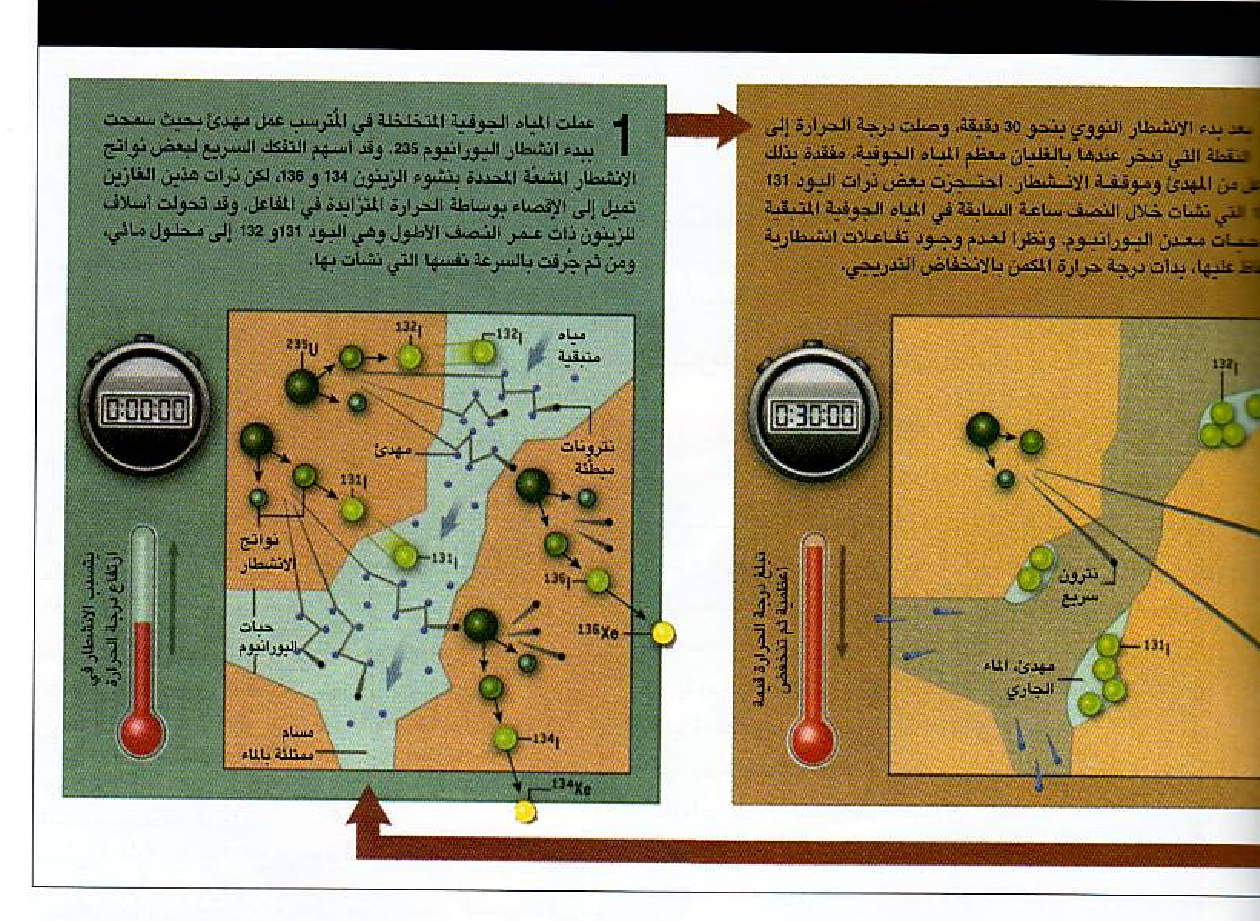
كان التنظيم الذاتي فعّالا جدا، بحيث لم يسمح بحدوث انصهار واحد أو انفجار عبر مئات ملايين السنين.

الأكثر أهمية ربما هي حول كيفية التعامل مع **النفايات النووية** nuclear waste. فأوكلو، على الرغم من كل شيء، يمثل نموذجا جيدا **لمستودع جيولوجي** geologic repository طويل الأمد، ولهذا تفحص العلماء بالتفصيل آلية هجرة نواتج الانشطار المتنوعة بعيدا عن هذه المفاعلات الطبيعية على مدى الزمن. كما، تمحصوا منطقة مشابهة لانشطار نووي قديم وجد في آبار تنقيب استكشافية حُفرت في موقع يبعد نحو 35 كم ويسمى بانكومبي. يلقى مفاعل بانكومبي اهتماما خاصا لكونه أقل عمقا من المناطق غير المنقّبة في مناجم أوكلو و أوكلوبوندو، مما يعني أن الماء كان ينساق خلاله بشكل أكثر أثناء الأزمنة الحالية. عموما، عززت هذه المشاهدات الثقة بأنه يمكن لمختلف أنواع النفايات النووية الخطرة أن تعزل تحت الأرض بنجاح.

يظهر أوكلو أيضا طريقة لخزن بعض أشكال النفايات النووية التي كان يُعتقد سابقا أنه من شبه المستحيل منعها من تلويث البيئة. فمنذ بدء توليد الطاقة النووية، انبعثت إلى الجو كميات ضخمة من الزينون 135 والكريبتون 85 المشعّين، إضافة إلى غازات خاملة أخرى تولّدها المحطات النووية. وتبرهن مفاعلات الانشطار الطبيعية إمكانية احتجاز نواتج النفايات في معدن فسفات الألمنيوم، التي تتمتع بقدرة فريدة على أسر وحبس هذه الغازات لبلايين السنين.

ويمكن لمفاعلات أوكلو أيضا تزويد العلماء بمعلومات حول **انزياحات** shifts ممكنة فيما كان يعتقد في الماضي أنها ثوابت فيزيائية

(*) Nature's Operating Schedule
(**) Xenon Reveals Cyclic Operation



أساسية، ويدعى أحدها ألفا وهو الذي يتحكم في مقادير شاملة مثل سرعة الضوء [انظر: «ثوابت فيزيائية متغيرة»، العلوم، العدد 9 (2005)، ص 32]. فلثلاثة عقود، لاتزال ظاهرة أوكلو، التي تعود إلى بليوني عام، تستخدم لإثبات أن α لم يتغير. ولكن في العام 2004، جذبت أوكلو العالمين <K .S. لامورو> و<R .J. تورگرسون> [من مختبر لوس ألاموس الوطني] ليثبتا أن هذا «الثابت» قد تغيّر في واقع الأمر بقدر مهم. (وللغرابة، في الاتجاه المغاير عما اقترحه الآخرون مؤخرا). وتتوقف حسابات <لامورو> و <تورگرسون> على تفاصيل محددة حول كيفية عمل أوكلو، وفي ذاك المقام فإن ما قمت به وزملائي قد يساعد على توضيح هذا الموضوع المعقد.

هل كانت هذه المفاعلات القديمة في الگابون هي الوحيدة التي تشكلت على الأرض؟ يجب ألا تكون استثنائية تلك الشروط اللازمة لحدوث انشطار نووي مستدام ذاتيا، كتلك التي نشأت قبل بليوني عام، فلربما يُكتشف في يوم من الأيام مفاعلات طبيعية أخرى. وأتوقع أن بضعة انبعاثات من الزينون يُكشف عنها قد تساعد كثيرا على هذا البحث. ■

المؤلف

Alex P. Meshik

بدأ دراسته الفيزياء في جامعة سانت بطرسبورغ الحكومية بروسيا، وحصل على الدكتوراه من معهد ڤرنادسكي التابع للأكاديمية الروسية للعلوم عام 1988. وأطروحته للدكتوراه كُرست للجيوكيمياء والجيوكرونولوجي geochronology والكيمياء النووية للغازين النبيلين الزينون والكريبتون. وفي عام 1996، التحق <ميشيك> بمختبر علوم الفضاء في جامعة واشنطن بسانت لويس، حيث يدرس حاليا، من بين أشياء عدّة، الغازات النبيلة المتأتية من الريح الشمسية التي جمعت وأعيدت إلى الأرض بوساطة مركبة الفضاء كِنيسيس (أي سِفر التكوين).

مراجع للاستزادة

On the Nuclear Physical Stability of the Uranium Minerals. Paul Kazuo Kuroda in *Journal of Chemical Physics*, Vol. 25, No. 4, pages 781–782; 1956.

A Natural Fission Reactor. George A. Cowan in *Scientific American*, Vol. 235, No. 1, pages 36–47; July 1976.

Neutron Moderation in the Oklo Natural Reactor and the Time Variation of Alpha. S. K. Lamoreaux and J. R. Torgerson in *Physical Review D*, Vol. 69, No. 12, Paper 121701(R); June 2004. Preprint available at arxiv.org/abs/nucl-th/0309048

Record of Cycling Operation of the Natural Nuclear Reactor in the Oklo/Okelobondo Area in Gabon. A. P. Meshik, C. M. Hohenberg and O. V. Pravdivtseva in *Physical Review Letters*, Vol. 93, No. 18, Paper 182302; October 29, 2004.

Scientific American, November 2005

حواسيب نانوية بقضبان متصالبة[*]

يمكن لتوليفات متصالبة من أسلاك نانوية عطوبة أن تحل محلَّ الدارات السيليكونية المستعملة حاليا.

<J .Ph. كويكس> ـ <S .G. سنايدر> ـ <S .R. ويليامز>

في غضون ما يزيد قليلا على نصف قرن من الزمن تزايدَ عددُ الترانزستورات على الشيپة السيليكونية من ترانزستور واحد إلى ما يقارب البليون ـ وهو إنجاز عُرِفَ **بقانون مور** Moore's Law. وكان من شأن هذا النجاح غير المسبوق ـ بفضل ما وفَّرهُ من رفع قدرة الآلات الرقمية على معالجة كَمٍّ هائل من الأرقام بسرعة كبيرة، وتنفيذ عمليات منطقية وتخزين بيانات ـ أن يُحدِث تغييرات جذرية في حياتنا اليومية عن طريق تطوير واحدة من كبرى الصناعات على كوكبنا وأبعدها أثرا.

ومع تزايد عدد الترانزستورات التي تُحشَد على الدارات المتكاملة السيليكونية، من المنتظر أن تتقلّص أطوالُ أصغر الشيپات إلى ما يقارب القياس الجزيئي وذلك على مدى السنوات الخمس عشرة القادمة. ويرى أنصار استعمال الدارات المتكاملة ـ حتى أكثرهم تفاؤلا ـ أن ثمة حاجة إلى إدخال تحسينات أساسية لبلوغ أقصى مستوى أداء للترانزستورات السيليكونية؛ بحيث تتحقق الخصائصُ الوظيفية من خلال شيپة لا يتجاوز طولها 10 نانومترات أو نحو 30 ذرة. ومن الضروري كذلك إيجاد تقانات بديلة قادرة على تقليص حجم الأجهزة الحاسوبية أكثر فأكثر لضمان استمرار التقدم التقاني. وبفضل النجاح الباهر للدارات المتكاملة السيليكونية فإن مستوى أداء أي بديل يحل محلها سيكون عاليا جدا، حيث سيستغرق تطوير دارات أخرى بديلة عقدا من الزمن على الأقل لتكون متاحة عند الحاجة إليها.

يقوم الباحثون في شتى أنحاء العالم باستكشاف بدائل عديدة ومثيرة. **فالحوسبة الكمومية** quantum computing على سبيل المثال تقنية جديدة تستفيد من خصائص كمية ـ ميكانيكية «غريبة» لمعالجة المعلومات. على أنَّ تحقيق هذه التقنية في الواقع قد يستغرق عقودا، بل لا يُعرف بوضوح مدى فائدتها في معظم التطبيقات حتى في حال تحقيقها. لذلك ينبري عدد من مجموعات البحث لإيجاد بديل في المدى المنظور يمكن تسويقه في غضون عشر سنوات. ولكي تكون هذه التقانة قابلة للتطبيق من الناحية الاقتصادية، فلا بد أن تشترك على نطاق واسع مع البنية التحتية لمعالج الدارات المتكاملة، والتي تتضمن عناصر حاسمة، مثل: مسابك تصنيع المعادن ومنصات عمل البرمجيات.

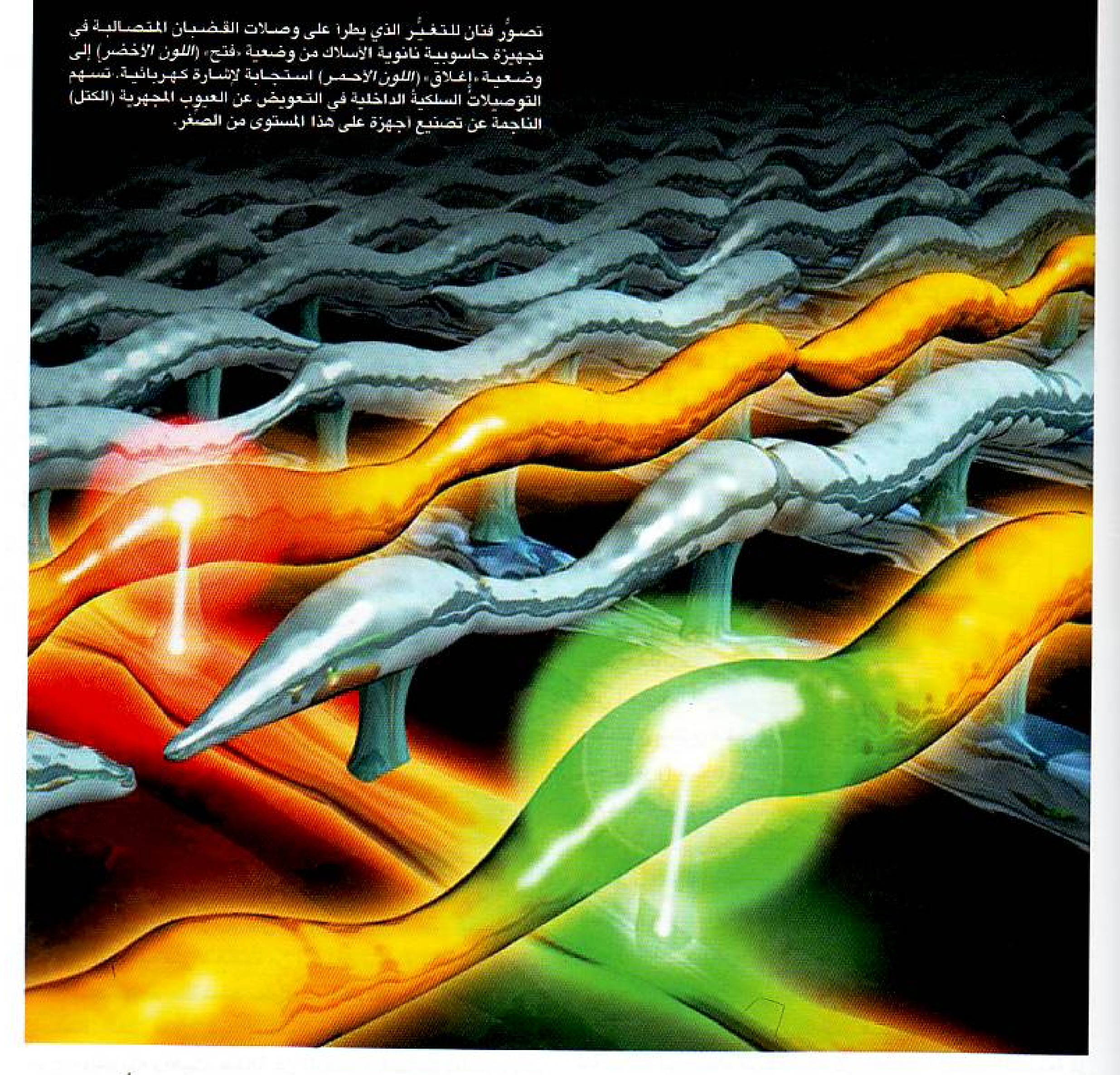
أما فريق أبحاثنا في مختبرات هيوليت ـ پاكارد Hewlett-Packard (HP) فيرى أن أكثر الطرق ملاءمة لتحقيق تقدم في هذا المجال يتمثل في بنيان[2] **القضبان المتصالبة** crossbar architecture. يتألف الواحد من هذه القضبان من مجموعة من الأسلاك النانوية المتوازية (عرضها أقل من 100 ذرة) تتقاطع مع مجموعة ثانية. وتتوضع بين مجموعتي الأسلاك مادة تتنبَّه كهربائيا لنقل كمية أقل أو أكثر من الكهرباء. تؤلف النقاط الناجمة عن تقاطع الأسلاك مفتاحا كهربائيا عند كل نقطة لتقاطع الأسلاك المتصالبة، يمكنه التحكم في حالتي **التشغيل (الوصل)** on **والإيقاف (الفصل)** off طوال الوقت.

وتوفر القضبان المتصالبة عدة فوائد: فالنموذج النظامي للأسلاك النانوية المتصالبة يجعل عملية التصنيع سهلة نسبيا، ولاسيما عند مقارنتها بالبنية المعقدة **للمعالجات الميكروية (الصغرية)**

نظرة إجمالية/ الإلكترونيات النانوية[**]

- يتطلب التحولُ إلى ما بعد تقانة الشيپات السيليكونية المدمجة الحالية تقليص حجوم الدارات المنطقية ودارات الذاكرة إلى قياسات لا تتعدّى بضعة نانومترات. وتوفِّر توليفات كبيرة من أسلاك متصالبة نانوية (تسمى القضبان المتصالبة crossbars) أساسا لإحدى أحسن التقانات المرشحة لإحراز نجاح عظيم في مضمار الحوسبة النانوية.
- لما كانت الأسلاكُ النانوية المؤلفة للقضبان المتصالبة متناهية الدقة، فهي بالضرورة عرضة في تصنيعها لعيوب ذرّية قد تكون خطيرة. إلا أن إدخال عناصر إضافية على الدارات، إضافة إلى استعمال تقنيات نظرية التكويد[1] يعوِّضُ عن تلك العيوب الكثيرة.

(*) CROSSBAR NANOCOMPUTERS
(**) Overview / Nanoelectronics
(1) coding theory
(2) أو معمارية.



تصوُّر فنان للتغيُّر الذي يطرأ على وصلات القضبان المتصالبة في تجهيزة حاسوبية نانوية الأسلاك من وضعية «فتح» (*اللون الأخضر*) إلى وضعية «إغلاق» (*اللون الأحمر*) استجابة لإشارة كهربائية. تسهم التوصيلاتُ السلكيةُ الداخلية في التعويض عن العيوب المجهرية (الكتل) الناجمة عن تصنيع أجهزة على هذا المستوى من الصغر.

microprocessors، إذ يتيحُ تركيبُها المنتظم الكشفَ عن طرائق واضحة لإدخال درجة من التسامح بوجود خلل ضمن الدارات. ويمكن إقامة البنية باستعمال مجموعة واسعة من المواد وعمليات المعالجة، مما يوفر مرونة هائلة في تعديل تصاميم جاهزة لمواد جديدة. وأخيرا فإنَّ بإمكان هذا الشكل الهندسي الفريد توفير الذاكرة والمنطق والاتصال البيني، وهذا ما يُكسبهُ درجة عالية من المطواعية.

طي موضوع القضبان المتصالبة(*)

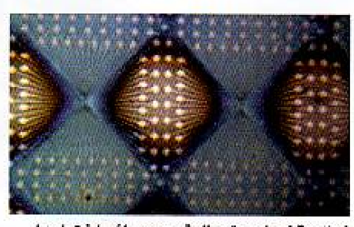
بدأت رحلة فريقنا في هذا المنحى من البحث عام 1995، عندما انتقل أحدنا (ويليامز) من قسم الكيمياء بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس إلى مختبرات HP. ومع أنه ليس خبيرا بالحواسيب، فقد كان مُلمًا ببعض مفاهيم الإلكترونيات، ومنها أن دارات الحاسوب يجب أن تكون متكاملة لتقوم بعملها بشكل صحيح؛ ومنها أن التقلُّبات العشوائية للذرات في درجة حرارة الغرفة وما فوق ذلك (بسبب **الأنتروبية** entropy[1]) قد تجعل من المتعذَّر بناء آلة متكاملة من بلايين المكونات التي يتألَّف كلٌّ منها من بضع ذرات فقط. ويذكر أن الاضطرابات - حتى تلك الذرية الحجم - تفرض درجات تفاوت لا يُستهانُ بها على حجم **التجهيزات النانوية** nanodevices، مما قد يُلحق الأذى بخصائصها الكهربائية ويترتب على ذلك تعطل جزء مهم من هذه الأجهزة الدقيقة. وكان من الطبيعي لـ<ويليامز> أن يستنتج أن تقنية **الإلكترونيات النانوية** nanoelectronics متعذرة التطبيق، وأن أبحاثه في مختبرات HP يجب أن تركِّز على تقنيات أخرى.

وفي عام 1996، اتفق أن التقى <ويليامز> مهندسا حاسوبيا (هو

(*) (Criss) crossing Over

(1) أو ظاهرة القصور الحراري.

كويكس) يعمل في مختبرات HP، وكان من شأن ذلك اللقاء أن يقلب الرؤية السابقة رأسا على عقب، وأن يضع الرجلين على عتبة جديدة غير متوقعة؛ فقد أخبر <كويكس> زميله <ويليامز> عن حاسوب عملاق يسمى **تيراماك** Teramac كان قد قام ببنائه هو وآخرون (من بينهم سنايدر). كان الحاسوب تيراماك يعمل بصورة جيدة تماما، مع أن 000 220 قطعة من مكوناته (أي ما يقارب 3% من مجموع المكونات) كانت تعاني خللا. وقد ذكر <كويكس> أن المشكلة في تصميم الحاسوب العملاق تتمثل في وجود مكونات كثيرة زائدة في دارات التوصيل الداخلي. وبعد تعيين مواقع الخلل وتصنيفها، جرى تصريف البرامج على الحاسوب، بحيث تبقى بمنأى عن الأجزاء



نواكر قضبان متصالبة مع وسائد اختبارها.

المعطلة، وذلك عن طريق الحيود عن مواضع الخلل وتجاوزها باستعمال توصيلات إضافية.

ولاحظ <ويليامز> على الفور أن قدرة الحاسوب تيراماك على احتمال الخلل قد أفسحت المجال لبناء حواسيب تعمل بدقة تامة على الرغم من تعطل عدد كبير من الأجزاء النانوية الدقة. وفي ذلك الصيف، عملَ <ويليامز> مع الكيميائي الزائر <J .R. هيث> [من جامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس] على تطبيق مفاهيم تجميع الجسيمات النانوية (تجميع بنى معقدة من وحدات بناء دقيقة جدا) على الحواسيب. وبعد مناقشات مطولة مع <كويكس> و<سنايدر> تتعلق باحتمال الخلل الذي تبديه الأنظمة الحاسوبية المجمَّعة كيميائيا، خرج <ويليامز> و<هيث> بمقالة عن الموضوع كتدريب تعليمي. وكم كانت المفاجأة كبيرة لجميع المعنيين بالموضوع عندما أُخِذَ البحثُ على محمل الجد، ثم نُشِرَ في مجلة *Science* عام 1998.

المطلوب نتائج سريعة(*)

وفي تلك السنة بالذات، لاحظ كُلٌّ من <E .B. نيد> و <L .W. وارن> [مديرَيْ برامج في وكالة مشروعات أبحاث الدفاع المتقدمة Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)] ضرورةَ وجود بنيان فاعل لتطوير التقانات الجديدة للتجهيزات النانوية التي تدعمها الوكالة. وكان الاهتمام بمبحث الإلكترونيات الجزيئية حينذاك يشهد انبعاثا، بعد سنوات من انطلاقه أول مرة في عام 1974، على يد <A. أفرام> [من الشركة IBM] و <A .M. راتنر> [من جامعة نورث ويسترن]. ولكن الصورة لم تتضح إلا في مطلع التسعينات من القرن الماضي، عندما بدأ <A .M. ريد> [من جامعة بيل] و <M .J. تور> [من جامعة رايس] فعليا بقياس الخصائص الكهربائية، وتركيب جزيئات جديدة للإلكترونيات. وقد أدرك <نيد> و <وارن> أن التجهيزات الإلكترونية من دون بنيان يربطها بدارة فعالة ليست إلا من قبيل الفضول الفكري. وكانت خطوتهما الجريئة المتحدية لأوساط البحث والرامية إلى تحديد بنيان فاعل للتجهيزات الجزيئية بمنزلة انطلاقة واثقة لأبحاث تالية قامت بها مجموعات عديدة، وتأليف مجموعات بحث تعاونية مهمة.

وسرعان ما قَبِلَ فريقُ عملنا (بأعضائه من مختبرات HP وجامعة كاليفورنيا) ذلك التحدي. ولكننا كنَّا أمام مشكلة عويصة؛ فالبنيان المستوحى من الحاسوب تيراماك، الذي كنا قد اقترحناه يحتاج تطويره إلى خمس سنوات، في حين أصرَّت الوكالة DARPA على معاينة نتائج ملموسة (مثل تجهيزة ذاكرة بسعة 16 بتة) في غضون سنتين فقط. وراح الزملاء الثلاثة (<هيث> و<كويكس> و<ويليامز>) يتشاورون لأسابيعَ ثلث، إلى أن خرجوا بمفهوم يمكن معه التقيُّد بالموعد المحدَّد. كان <كويكس> و<ويليامز> على علم بمشروع مختبرات HP المتمثل **بالذاكرة المغنطيسية العشوائية النفاذ** magnetic random access memory project، وبأن البنية البسيطة للقضبان المتصالبة التي قام المشروعُ على أساسها هي التصورُ النظري الأخير لجملة مكوِّنات الحاسوب تيراماك.

وأشار <هيث> إلى أن القضبان المتصالبة تبدو كالبلورات، ومن ثم فلا بدَّ أن يكون بالإمكان بناء مثل هذه المنظومة كيميائيا. وكانت ثمة حاجة إلى إيجاد طريقة لربط كل زوج من الأسلاك المتقاطعة في القضيب بمفتاح كهربائي يُفتَح ويُغلَق حسب الرغبة. واقترح <ويليامز> أن وجود مادة فعالة كهركيميائيا تُدسُّ بين الأسلاك لا بدَّ أنه يوفِّر إمكان تغيير المقاومة الكهربائية لنقاط التماسّ بدرجة كبيرة وعكوس، وذلك بإمرار تيار كهربائي مناسب عبر السلكين النانويين، بحيث ينغلق المفتاح الكهربائي بتقليص كمية الجهد الكهركيميائي في الفجوة «النفقية» الميكانيكية-الكمومية التي يتعيَّن على الإلكترونات عبورها للانتقال من قطب كهربائي إلى قطب آخر. وبتطبيق جهد كهربائي معاكس بغية توسيع الفجوة النفقية ورفع شدة المقاومة الكهربائية يُعادُ تشغيل المفتاح الكهربائي من جديد.

لقد زودنا <هيث> بالمادة التي نحتاج إليها، وأطلع فريقنا على كينونات جزيئية من تصميم <F .J. ستودارت> [العضو الجديد في جامعة كاليفورنيا حينذاك] لاستعمالها كمفاتيح ميكانيكية يجري

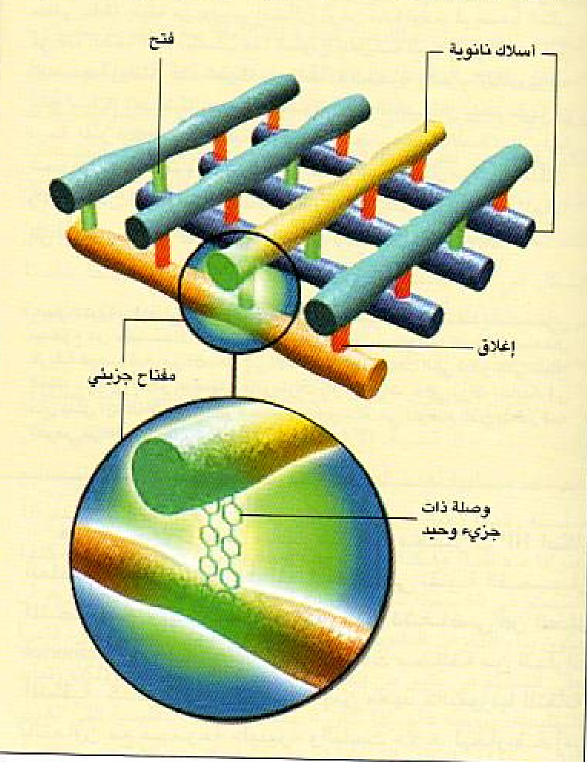
إن التقلبات العشوائية للذرات قد تجعل من المتعذر بناء آلة متكاملة من مكوِّنات نانوية.

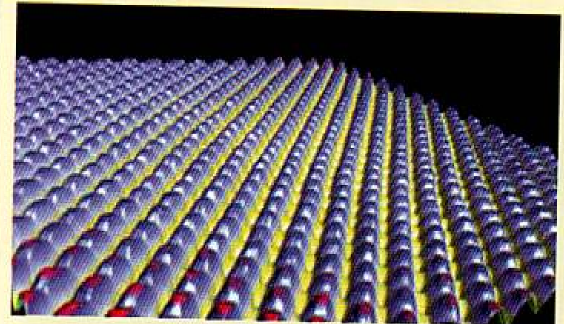
(*) Rapid Results Required

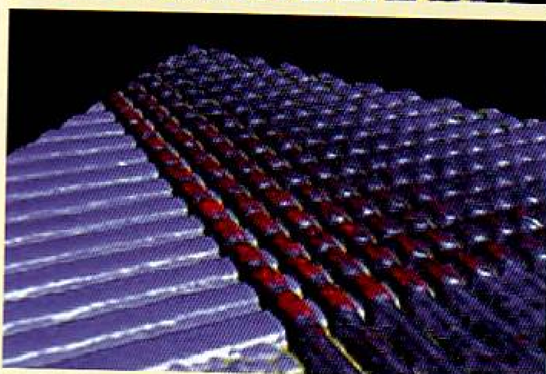
الوصل والفصل عند مفترق الطرق(*)

إن المكوِّن الرئيس في بنيان القضبان المتصالبة هو مفتاح نانوي يمكن فتحه أو إغلاقه بإمرار جهد كهربائي ملائم في الأسلاك المتصلة به.

وفي نموذج مختبرات هيوليت - پاكارد HP يؤلِّف المفتاح عند نقطة التقاء سلكَيْن نانويَّيْن متقاطعين جرى فصلهما بشريحة أحادية وحيدة من الجزيئات. يبدأ المفتاح بمقاومة عالية، ويحجز تدفق الإلكترونات بين سلكيه الدقيقين («إغلاق» - *المواضع الحمراء في الشكل أدناه*). أما عند إمرار جهدٍ كافٍ لقطبية كهربائية polarity ملائمة (*الأسلاك الصفراء والبرتقالية*) عبر السلك فيتغيَّرُ وضعُ المفتاح فجأة إلى حالة مقاومة أخفض بكثير، متيحا للإلكترونات التدفق بسهولة أكبر («فتح» - *المواضع الخضراء في الشكل*). يبقى المفتاح في حالة المقاومة المنخفضة إلى حين مرور جهد كهربائي سلبي كافٍ يجعله يعود إلى حالته الأصلية. يبقى المفتاح في وضعيةٍ آخر ضبطٍ له مادام الجهدُ الكهربائي مراوحا بين هاتين العتبتَيْن الإيجابية والسلبية. وبالفعل فإن المفاتيح التي اختبرها أصحاب هذا المقال حافظت على الوضعيات التي ضُبِطَتْ عليها منذ أكثر من ثلاث سنوات حتى الآن. وإذا أُتيحَ للمفاتيح أن تحرك مفصليا إلى الوراء والأمام عدة مرات، عندئذٍ يمكن إعادة تشكيل بنيتها واستخدامها في ذاكرة نفاذ عشوائي، أو في دارة منطقية قابلة لإعادة البرمجة reprogrammable.







نموذج أولي لتجهيزة حاسوبية من قضبان متصالبة، جرى تصويرها باستعمال مخطاط مجهري (*الصورة العليا*)، وهي مؤلَّفة من 34 سلكا نانويا (عرض كل منها 30 نانومتر) تتقاطع مع 34 سلكا آخر. وتبين التفاصيل (*الصورة السفلى*) كيف تتصالب المجموعة الأولى من الأسلاك النانوية مع المجموعة الأخرى. يُذكر أن نقطة اتصال سلكين نانويين هي أصغر من حجم فيروس مألوف.

تفعيلها كهركيميائيا. وتتلخَّصُ الفكرة في أن أي شيء يمكنه تغيير شكله عند انتقاله بين سلكين لا بُدَّ أيضا أن يؤثر في قدرة الإلكترونات على العبور من سلك إلى آخر. وتمثلت الخطوة الحاسمة في إقناع ‹ستودارت› (الذي كان في شغل شاغل) بتعديل جزيئاته - التي سماها **روتاكسانات** rotaxanes - كيميائيا لجعلها زيتية القوام. وتمكن ‹هيث› نتيجة لهذا التعديل من أن يضع نقطة صغيرة من هذه الجزيئات على سطح مائي، مما يؤدي إلى انتشارها وتكوين غشاء بسمك جزيء واحد، ينتقل على طبقة سفلية تكوَّنت عليها مجموعة الأسلاك السفلى (في عملية تُسَمَّى **تقنية لانكميور - بلودجيت** Langmuir-Blodgett technique). وبعد ذلك قمنا بترسيب مجموعة الأسلاك العليا عن طريق تبخير المعدن من خلال **قناع** mask، وبذلك تمَّت الدارة. وقد أفضت هذه التجارب المبكِّرة إلى تطبيقات عديدة لبراءات اختراع أمريكية، واقتراح للوكالة DARPA، إضافة إلى نشر بحثٍ آخر في مجلة *Science*.

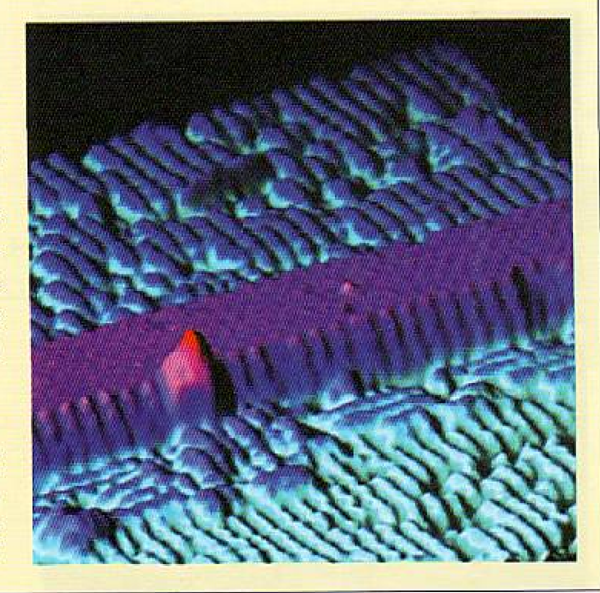
تحقيق نتائج(**)

على الرغم من التشكيك الواضح في نتائج أبحاثنا في الأوساط العلمية، فإن فكرتنا عن القضبان المتصالبة والمفتاح الكهركيميائي لقيت قبولا لدى الوكالة DARPA لفترة تجريبية مدتها عامان، إضافة إلى قبولها أفكارا أخرى. ومنذ المراحل الأولى للمشروع برهنت مجموعات ‹هيث› و‹ستودارت› على أن وجود جزيئات الروتاكسان

(*) On And Off At The Crossroads
(**) Making the Cut

هل نبني من الأعلى إلى الأسفل أم من الأسفل إلى الأعلى؟(*)

يشهد ميدان التصنيع النانوي نشاطا كبيرا في الوقت الحاضر، إلى جانب تقنيات حوسبة عديدة متنافسة قيد الدراسة والبحث. ويمكن تصنيف طرائق التصنيع المتبعة في فئتين: طريقة البناء من القمة إلى القاعدة، وطريقة البدء من القاعدة باتجاه القمة (الصورة أدناه). والأمثلة السابقة تشبه طرائق تصنيع الدارات المتكاملة التقليدية، التي تستخدم أسلوب **الطباعة الحجرية الضوئية** photolithography، يتبعه عملية **الحفر الكيميائي** chemical etching أو **ترسيب المواد** deposition of materials للحصول على الخصائص المطلوبة.



عيوب ذريّة تظهر في هذه الصورة المجهرية النفقية الماسحة لسلك نانويّ مصنوع من سليسيدات الإربيوم التي تكوّنت على سطح سيليكوني باستعمال طريقة كيميائية (*من الأسفل إلى الأعلى*). إن النتوءات التي تبدو على سطح السلك - والتي يناهز عرضها 3 نانومترات (أو 10 ذرات) - هي ذرّات أحادية، في حين يمثّل الانتفاخُ على جانب السلك النانوي خللا في الموضع الذي يتغيّرُ فيه العرضُ من 10 ذرات إلى 9 فقط.

وتقوم هذه الطرائق الأخيرة على عمليات كيميائية أو كيميائية حيوية تتجمع بموجبها الذرات أو الجزيئات ذاتيا، آخذة الشكلَ المرغوب بفضل خصائصها الذاتية والمدروسة. ويتفق معظم الباحثين في هذا الميدان على ضرورة دمج هاتين الطريقتين بشكل ما، وصولا إلى بناء الدارات الجزيئية المستقبلية.

ويتّبع فريقنا في مختبرات HP أسلوبَ **الختم بالطباعة** imprint lithography لإنشاء القضبان المتصالبة، ونحن نستعمل أسلوب **الطباعة الحجرية بالحزم الإلكترونية** electron beam lithography لإنشاء قوالب للدارات. ومع أن هذه العملية بطيئة ومكلفة، فإنها تمكننا من صنع نسخ طبق الأصل عن المنتج النهائي، تستعمل فيما بعد لنسخ أعداد كبيرة من الدارات بصورة مشابهة لنسخ أسطوانات التسجيل. وتتلخص العمليةُ في طلي أرضية سفلى بطبقة رقيقة من پوليمير (متماثر) أو من مادة تولّده، ثم يُضغطُ القالبُ في هذه الطبقة الليِّنة. يتصلّب هذا النموذج بتعريضه للحرارة أو الأشعة فوق البنفسجية. وتمتازُ هذه الطريقة بأن الطباعة الحجرية بالحزم الإلكترونية قد تُنتجُ أسلاكا ذات أشكال هندسية عشوائية على القالب. لكن يُؤخَذُ عليها أن درجة **الميْز** resolution الحالية لخصائص مجموعة من الأسلاك المتوازية محدودة **بنصف رتوة** half-pitch (أي نصف المسافة بين مركزي سلكين: واحدةُ قياس معيارية في الصناعة) بطول 30 نانومتر. مع أننا نسعى حاليا إلى إدخال تحسينات على عدد من التقنيات لرفع مستوى هذا الأداء.

بين الأقطاب الكهربائية يمكنه بالتأكيد أن يؤلف مفتاحا للتحكم في حالتي المقاومة العالية والمنخفضة. ومنذ ذلك الحين لاحظت مجموعتنا كما لاحظت مجموعات الأبحاث الأخرى، مثل مجموعة <Ch. ليبير> [في جامعة هارڤارد] ومجموعات <ريد> و<تور>، وجود طيف واسع من آليات مفاتيح نانوية. ويذكر أن تنوُّع الآراء والأساليب بشأنها قد ولَّدَ بعض الإرباك في أوساط الأبحاث عموما، وهكذا بقيت ظاهرة تعدُّد المفاتيح غير محسوسة، إلاّ أنّ وجود المفاتيح الكهربائية بات أمرا متعارفا اليوم على نطاقٍ واسع، علما بأن العشرات من مجموعات الأبحاث في شتى أنحاء العالم تَعكِفُ حاليا على تطوير مفاتيح كهربائية نانوية عالية المتانة [*انظر الإطار في الصفحة 71*].

وباستخدام بنية القضبان المتصالبة أصبح زملاؤنا في جامعة كاليفورنيا أولَ مجموعة أبحاث تعرض ذاكرة بسعة 16 بتة، تعمل بنجاح في إطار برنامج الوكالة DARPA لعام 2000. وقد شجّعَ نجاحُهم الوكالةَ على تمويل برنامج آخر أكثر طموحا، إذ يهدف إلى تصنيع ذاكرة بسعة 16 كيلوبتة، بكثافة 100 بليون بتة في السنتيمتر المربع. وهذا الهدف جعلَ من تصنيع القضيب أمرا بعيد المنال، لأنه يحتاج إلى إمكانات تصنيع لا يتوقع توافرها في صناعة أشباه الموصلات (النواقل) قبل عام 2018.

هذا في حين تواصل مجموعتنا في مختبرات HP ابتكار أنماط جديدة من الدارات المعتمدة على تقنية القضبان المتصالبة، ولاسيما **الذواكر التي تتغاضى عن الخلل** defect-tolerant memories ومجموعات مختلفة من الدارات المنطقية. كذلك قام <A. دي يون> [من معهد كاليفورنيا للتقانة] بالتعاون مع مجموعة <ليبير> والباحث <K .K. ليخاريف> [من جامعة ستوني بروك]، بإدخال تعديلات مهمة على المفهوم الأصلي لبُنيان القضبان المتصالبة. ومع أن بنيان القضبان المتصالبة والمفاتيح قد بدأ كظاهرة يكتنفها الغموض في إطار مشروع DARPA الجريء، فقد اعتُمِدَ حاليا على نطاقٍ واسع بعد إدخال تعديلات كثيرة عليه أجرتها مجموعاتُ بحث من مختلف أنحاء العالم، مثل مجموعة ماساكازو أونو التابعة للمعهد الوطني لعلم المواد في اليابان ومجموعة راينر ويزر التابعة لمركز الأبحاث جوليش في ألمانيا.

ولكي نفهم طريقة عمل القضبان المتصالبة، لا بد من مناقشة طبيعة بنية مفتاح التشغيل والقضبان، وطريقة صنع هذه القضبان من أسلاك نانوية [*انظر الإطار في هذه الصفحة*]، وإمكانية بناء دارات جزيئية موثوقة، انطلاقا من مكونات تتصف بعدم الوثوقية.

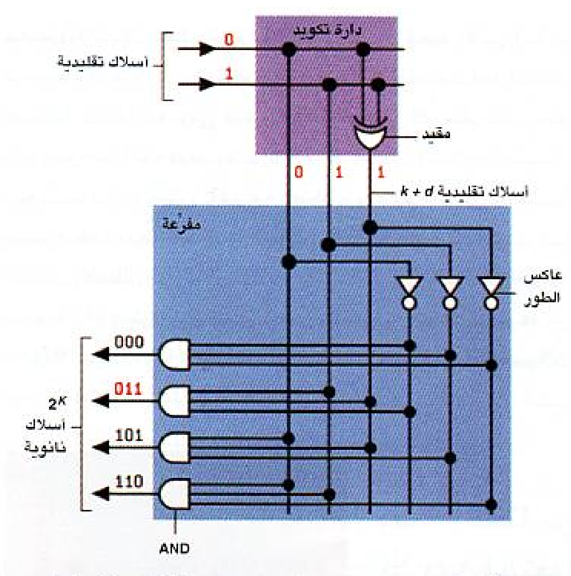
(*) Build Top-Down Or Bottom-Up?

من الميكروي إلى النانوي وبالعكس(*)

تقتضي فلسفة تقنية القضبان المتصالبة أن نتعايش مع عيوبها التي هي جزء منها، وأن نحاول العمل ضمن بيئة هذه العيوب. إن استراتيجية «أوجِدْ وتَجَنَّبْ» find and avoid الخاصة بالحاسوب تيراماك، المشار إليها سابقا، تكون ناجحة مادام بالإمكان التواصل مع الأسلاك النانوية. وهذا يطرح سؤالا آخر: كيف يمكن تخطّي فجوة التباين في قياسات الأسلاك وعددها بين الإلكترونيات النانوية والدارات المتكاملة السيليكونية اللازمة للتحكم في القضبان المتصالبة؟ فلو كان بالإمكان توصيل الأسلاك واحدا لواحد (أي وصل سلك من الدارة المتكاملة مع سلك من جزيء القضبان المتصالبة)، لما وفرت القضبان المتصالبة النانوية أية ميزة جوهرية. ولكن بالإمكان حل هذه المشكلة بإجراء التوصيلات الكهربائية عبر **مفرِّعة** demultiplexer، وهي دارة ثانوية تتَّخذ عددا اثنانيا (كالعدد 1010) دخلا لها وتختار سلكا نانويا وحيدا يحمل تلك السلسلة الاثنانية بوصفها **معيِّنا** identifier فريدا [*انظر الشكل في هذه الصفحة*]. وفي حالتنا، تعدُّ المفرِّعة نموذجا خاصا من القضبان المتصالبة يوصل فيه عدد كبير من الأسلاك النانوية بعدد صغير من الأسلاك التقليدية.

إن عدد الأسلاك اللازمة لإدخال عنوان اثناني واحد يساوي طول الأسماء الرقمية، إلا أن كمية الأسلاك النانوية التي يمكن عنونتها مساوية لعدد العناوين الفريدة. على سبيل المثال، تستطيع سلسلة رقمية بطول 4 بتات (0000، 0001، 0010.. الخ) أن تحدِّد 16 عنوانا مختلفا. وهكذا، فإن أربعة أسلاك ميكرونية القياس يمكنها التحكم في 16 سلكا نانويا. وهذه الحقيقة مهمة، لأنه إذا أُريدَ أن يكون بناءُ الدارات النانوية مجديا، فذلك يستتبع أن يكون المرءُ قادرا على التحكم في كثير من الدارات بالاستعانة بقليل من الإلكترونيات التقليدية. وبوجه عام، إذا كان k عدد الأسلاك التقليدية التي تغذّي المفرِّعة، فإن بإمكانه التحكم فيما يعادل 2^k من الأسلاك النانوية، وهو مقدار أُسِّي ملائم جدا.

ولكن مشكلة كبيرة قد تقع في حال تعطل إحدى الوصلات بين سلك نانوي في المفرِّعة وسلك تقليدي، إذ يتعذر عندئذ التمييز بين الأسلاك النانوية المختلفة k، التي تشارك تلك **البتة** bit المعطوبة في عنوانه. (فمثلا، إذا كانت البتة الأخيرة في السلسلة معطوبة، بدا العددان 0000 و 0001 متطابقين، وكذلك العددان 1110 و 1111 وسائر الأزواج الأخرى). ومن ثم، فإن أي خطأ في التوصيل داخل المفرِّعة يؤدي إلى فقدان جميع الدارات النانوية ذات الصلة بالأسلاك النانوية k، وهذا إخفاق خطير. ويبدو أن هذه النتيجة تستلزم أن تكون المفرِّعات - التي تؤلِّف نصف عدد الدارات النانوية - مثالية، وهذا مخالف لمبدئنا من أن الإلكترونيات النانوية عُرْضَة للخلل.



تتيح المفرِّعةُ للأسلاك المعهودة في الشيپات السيليكونية التحكمَ في أعداد كبيرة من الأسلاك النانوية. فإذا كان k هو عدد الأسلاك التقليدية، تمكِّنت المفرِّعة من التحكُّم في أسلاك نانوية عددها $2K$. وإن وجود كمية إضافية d من الأسلاك التقليدية يوفر عناصر إضافية داعمة للتحكم تحملها على الاستمرار في العمل، على الرغم من وجود توصيلات معطلة بين الأسلاك النانوية والأسلاك التقليدية. وفي هذا المخطط المبسَّط لدينا $k = 2$ و $d = 1$؛ وسلكان ميكرونيان يتحكمان في أربعة أسلاك نانوية، إضافة إلى بتّة واحدة زائدة. في هذا المثال يوفر السلكان التقليديان دخلا لعنوان المفتاح 01 (*اللون الأحمر*)، فتضيفُ دارةُ التكويد[1] بتّة إضافية وتعطي العنوانَ المكوَّد 011. يقوم العنوان المكود بتفعيل السلك النانوي في المفرِّعة، الذي يحمل الكود 011.

على أننا نجد حلاً لهذه المشكلة في ميدان **نظرية التكويد** coding theory، التي يطبقها المهندسون عند بث معلومات رقمية عبر بيئات ضجيج (كما يحصل في اتصالات الأقمار المدارية الطوَّافة). والفكرة العامة هي تقطيع الرسالة إلى كتل صغيرة من البيانات الاثنانية المؤلفة من سلاسل من الأصفار 0s والواحدات 1s. ثم تُوَسَّعُ كُلُّ كتلة بإضافة المزيد من البتَّات بهدف إنشاء كتلة أكبر هي **الكود (الرماز)** code. تُحسب هذه البتات الإضافية وفقا لعبارة جبرية باستخدام البتات في كتلة الرسالة الأصلية كمدخلات لعمليات الحساب. وعند إرسال هذه الرسالة الكبيرة (الكتلة الموسعة) عبر الهواء أو عن طريق بيئة ضجيج أخرى قد تنتقل بعضُ البتَّات في الرسالة المكودة مشوَّشة أو مقلوبة (كأن تتحوَّل بعضُ الواحدات إلى أصفار والعكس بالعكس). ومع ذلك يمكن استعادة الرسالة الأصلية بصورتها الصحيحة تماما بإعمال الكود نحو الخلف عند الطرف المستقبِل (ما لم يكن عدد البتَّات المقلوبة مستغرقا الكود كلَّه).

وبتوجيه من <G. سيروسي> و <R. روث> و <W. روبنت> [من مختبرات HP] قام فريقنا بتطبيق هذه الفكرة لحماية أسلاكنا النانوية من التوصيلات المعطلة في المفرِّعة. وبدلا من ترقيم الأسلاك النانوية على التوالي، نستعمل حَيِّزَ عنوانٍ موسَّعا يكون

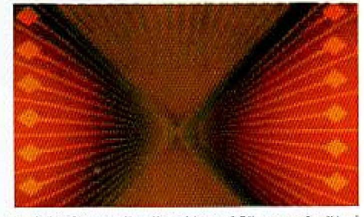
(*) From Micro to Nano and Back

(1) encoding

فيه عددُ الأسلاك الداخلة إلى المفرِّعة أكبر من العدد الأدنى اللازم لتحديد كل سلك نانوي تحديدا متميزا (وذلك بوساطة أسلاك إضافية عددها d). وفي هذه الحالة، يظهر أن كلَّ سلك نانوي قد يكون عرضة لعدة توصيلات غير سليمة مع الأسلاك التقليدية. ومع ذلك، فإن بإمكان المفرِّعة «عَنْوَنَة» جميع الأسلاك النانوية بنجاح. هذا ويعتمد عدد الدارات الزائدة اللازمة على درجة احتمال الأعطال في التوصيلات؛ وإنَّ مقدارا صغيرا من الزوائد (نحو 40%) يمكن أن يحسِّن حصيلة التصنيع الفاعل للمفرِّعة من 0.0001 إلى 0.9999 بافتراض أن معدل الأعطال في التوصيلات ضمن المفرِّعة هو 0.01.

تخطَّت 100، مما يجعل قراءة البتات سهلة جدا.

وعندما أصبح هدف الذاكرة النانوية قاب قوسين من الإنجاز (وباعتبار أن الوكالة DARPA تتطلَّب نصف رتوة بطول 16 نانومتر) كانت العقبة الكأداء التالية التي واجهتنا تتمثل في إنجاز حوسبة شاملة باستعمال دارات منطقية نانوية. فقمنا بالتعاون مع <D .R. ستيوارت> [من مختبرات HP] بتأليف قضبان متصالبة قادرة على تنفيذ منطق بسيط [أي تنفيذ عمليات AND و OR بوليانية)[2]، وذلك بوضع قيم مقاومة المفاتيح في جزيء قضيب متصالب. على أن مجال العمليات المنطقية التي يمكن تنفيذها يكون محدودا من دون عملية NOT أو عملية عكس


أسلاك خرج من القضيب المتصالب إلى وسائد الاختبار.

وهكذا تمكَّنا من استنباط دالَّتي[3] استرجاع الإشارة وعكسها من دون استعمال الترانزستورات في دارة قضبان متصالبة.

تصنيع الذواكر(*)

ومنذ ظهور أول تجهيزة ذاكرة بسعة 16 بتّة، عرضَ فريق <هيث> وفريقنا من مختبرات HP عام 2002 ذواكر بسعة 64 بتّة، عند **أنصاف رَتْوات** half-pitch[1] بطول 62 نانومترا. كما عرضَ الفريقان في عام 2004 نموذجا للقضبان المتصالبة سعة كيلوبتة واحدة عند نصف الرتوة 30 نانومتر، متبعين أساليب مختلفة في استعمال الأسلاك والمفاتيح (على سبيل المقارنة يذكر أن نصف الرتوة في أحدث الدارات المتكاملة المستخدمة في أشباه الموصلات عام 2005 هو 90 نانومتر). فقد جرى وصل كل سلك نانوي في ذواكر العرض هذه بموصِّل أحادي، وعبَّرنا عن البتة بـ1 (مقاومة منخفضة) أو 0 (مقاومة عالية)، وذلك بتمرير **جهد كهربائي انحيازي** bias voltage يتخطَّى الحدَّ اللازم، لتوصيل المفتاح المرغوب عبر سِلْكَيه مباشرة. وما دام الجهد الكهربائي اللازم لتسجيل 1 أو 0 قويا نسبيا، والتغير في الجهود الكهربائية المطبقة على وصلات أسلاك الدارة أقل من نصف الجهد الكهربائي اللازم لتشغيل المفتاح وإغلاقه، فإن هذا الإجراء يضمن أن يكون ما يُكتَب مقتصرا على البتّة المرغوبة حصرا في المصفوفة (وأن ليس ثمة بتّات أخرى قد كُتبت أو حُذفت عَرَضا). وتُقْرأُ البتّة المخزَّنة في المفتاح بتطبيق جهد كهربائي أدنى بكثير عبر الأسلاك المتصالبة المختارة، وبقياس شدة المقاومة عند تلك الوصلة للمفتاح. وكانت هذه النتائج الأوليَّة مشجِّعَة ـ إذ لوحظ في الذاكرة ذات الـ 64 بتّة، المطورة في مختبرات HP أن نسبة المقاومة بين 1 (فتح) و 0 (إغلاق)

الإشارة التي تغير 1 إلى 0 وتغير 0 إلى 1. ثم إن **الدوالّ المنطقية السلكية** wired logic functions تتسبب ـ بالضرورة ـ في إيقاف مستويات الجهد الكهربائي؛ فإذا استعملت بإفراط في دارة تسلسلية، باتَ من المتعذر تمييز الواحدات من الأصفار، ومن ثم تعذَّرت الحوسبة.

تؤدي الترانزستورات الموجودة في الدارات المتكاملة السيليكونية عمليتي **استرجاع الإشارة** restoration **وعكسها** inversion كلتيهما. وقد حملت هذه الحقيقة مجموعتي <هيث> و<ليبر> على تصنيع ترانزستورات من أسلاك سيليكونية نانوية. وقمنا نحن و<دي يون> بوصف دارات منطقية ذات بنية «قرميدية وفسيفسائية» يمكن إنشاؤها باستخدام ترانزستورات وعناصر أخرى مصنعة على شكل قضيب متصالب. ولما كانت هذه الطريقة تستخدم تقانة الدارات المتكاملة الحالية، فإنها تخضع في نهاية المطاف إلى مواطن القصور المذكورة آنفا، بحيث لا تقدم أكثر مما يتيحه قانون مور. ونعمل حاليا على بحث طريقة بديلة واختبارها، وهي تنفيذ عمليتي عكس الإشارة واسترجاعها من دون استخدام الترانزستورات.

يبني فريقنا شكلا غير مألوف لدارة منطقية متوضعة في قضيب من القضبان المتصالبة، وذلك باستخدام مجموعات من المفاتيح وأسلاك العمليات المنطقية AND و OR. وفي هذه الحالة تنفذ المفاتيح عملية تثبيت عرضناها إلى عهد قريب مع <ستيوارت>. وحددنا مستوى الجهد الكهربائي اللازم لتشغيل المفتاح بـ 1 وإغلاقه بـ0. وهكذا فإن أي سلك موصول بدخل مفتاح ما سيضبط بالضرورة ذلك

(*) Making Memories

(1) نصف المسافة بين مركزَيْ سلكين متجاورين، وهي واحدة قياس معيارية في صناعة أشباه الموصلات.

(2) boolean (3) function أو تابع. (التحرير)

مجموعات البحث العاملة في مجال بُنَى القضبان المتصالبة(*)

المفتاح	المؤسسة/المؤسسات	المجموعة/المجموعات
طبقة أحادية من الروتاكسان بين أسلاك من السيليكون والتيتانيوم.	كالتك/ جامعة كاليفورنيا لوس أنجلوس	J. R. Heath/ J. F. Stoddart
ترانزستورات ذات مفعول ميداني من أسلاك نانوية سيليكونية.	جامعة هارڤارد/كالتك	C. Lieber/ A. DeHon
موصل أيوني من كبريتيد الفضة (مفتاح ذري قوامه الفضة).	المعهد الوطني لعلم المواد، اليابان	M. Aono
حركة مختلّة في الأغشية الرقيقة الذاتية الاستقطاب.	مركز أبحاث جوليش، ألمانيا	R. Waser
ترانزستور جزيئي أحادي الإلكترون.	جامعة ستوني بروك	K. K. Likharev
أكسدة/ خفض أكسدة سلك نانوي معدني.	مختبرات هيوليت-پاكارد	Quantum Science Research

المفتاح على القيمة المنطقية الحالية لذلك السلك، وبذلك ينقل بتة واحدة من المعلومات من حالة «منطق» إلى حالة «ذاكرة».

وما إن تخزَّن تلك البتة على أنها حالة ذاكرة، يصبح بالإمكان استخدامها في عمليات منطقية أخرى، عن طريق وصل سلك الخرج من المفتاح إلى منبع جهد كهربائي (وهو في حالتنا سلك من مؤقتة ضبط العمليات). ويمكن استعمال هذا التوصيل الجديد لاسترجاع الجهد الكهربائي للحالة المنطقية إلى قيمته المطلوبة عند تخفيضه. وثمة أسلوب آخر يتمثل في تحويل الجهود الكهربائية التي تمثل كلاً من 1 و 0 إلى أسلاك الخرج، الأمر الذي يعكس الإشارة المنطقية. ومن شأن هذا التغيير أن يتيح العملية المنطقية NOT التي تكفي إضافتها إلى العمليات المنطقية AND أو OR لتنفيذ أيٍّ من الحسابات. وهكذا تمكنَّا من استنباط دالَّتي استرجاع الإشارة وعكسها من دون استعمال الترانزستورات أو خصائصها في دارة منطقية من قضبان متصالبة.

ما بعد الدارات المتكاملة السيليكونية(**)

إن الطريق إلى الحوسبة الشاملة التي تتجاوز حدود دارات الترانزستور المتكاملة ما زالت غيرَ محقَّقة بعد. ومع ذلك فقد ظهر في السنوات الفائتة بنيان القضبان المتصالبة كمنافس حقيقي لنموذج حوسبة جديد، علما بأن ثمة الكثير مما يجب عمله أولا، ولاسيما في إطار ثلاثة مجالات بحث مختلفة يجب أن تتطور بسرعة وفي آن معا: البنيان وفيزياء التجهيزات والتصنيع النانوي. ولعلَّ في إقامة جسور تواصل مثمر بين هذه الميادين ما يمثِّل في حدِّ ذاته تحديًا لا يقلُّ شأنا عن إيجادِ حلول للقضايا التقنية المستعصية. ويتطلب النجاح وجود مجموعاتٍ عديدة من الباحثين ممَّن يتحلّون بروح التنافس والتعاون، من قبيل ما يتحلّى به المشاركون في مشروع الوكالة DARPA.

ولا بُدَّ أن تؤخذ مسألة احتمال العيوب كعنصر أساسي تجب مراعاته في أية استراتيجية مستقبلية تتناول الإلكترونيات النانوية. ويعدُّ بنيان القضبان المتصالبة مثاليا لتطبيق استراتيجيات تقوم على الكشف عن المكوِّنات الرديئة وتجنُّبها، وكذلك على نظرية التكويد للتعويض عن الأخطاء. ومن المحتمل أن تكون الدارات المستقبلية أكثر متانة وفاعلية من الإلكترونيات الحالية، مع أنها ستنطلق حاملة نسبة عالية من المكونات المعطوبة، علما بأن احتواءها على مكونات زائدة مضمَّنة جدير بأن يجعلها مقاومة لتأثير قوى (مثل التعرض للإشعاع) من شأنها أن تسبب أعطالا جسيمة في الدارات المعهودة، بينما تتسم هنا في جعل مستوى الأداء ينخفض تدريجيا.

إن الطبيعة الكمومية-الميكانيكية للمفاتيح الأنبوبية (النفقية) تلائم الدارات النانوية. واليوم، مع تقلُّص حجوم مثل هذه الأجهزة، باتت حركةُ الإلكترونات بداخلها أشبه بحركة أجسام كمومية-ميكانيكية. وفي حكم المؤكَّد أن هذه المفاتيح ستكون قادرة على تصغير حجمها أكثر فأكثر إلى أن تقارب أبعادَ ذرَّة منفردة - وفي ذلك ما يشير إلى مدى ما قد تبلغه مستقبلا الداراتُ الإلكترونية من نمنمة. ■

(*) Group Researching Crossbar Architectures

(**) Beyond Silicon ICs

المؤلفون

Philip J. Kuekes - Gregory S. Snider - R. Stanley Williams

يعمل الباحثون الثلاثة على تطوير تقانات حاسوبية للجيل القادم في إطار برنامج البحث العلمي الكمومي QSR التابع لمختبرات هيوليت-پاكارد HP في پالو آلتو / كاليفورنيا. ابتكر **كويكس** *أفكارا جديدة في ميادين الحوسبة والدارات والتجهيزات الإلكترونية وأبحاث المعلومات الكمومية. وهو كبير مهندسي البرنامج QSR، إذ يقوم بتصميم وإنشاء* **حواسيب «الحافة المتقدمة»** *(أو «الجبهة الصاعدة») leading-edge computers منذ ما يزيد على ثلاثين عاما. ويشغل* **سنايدر** *حاليا منصب مستشار في مختبرات HP، ويعمل على استكشاف طرائق جديدة لتحسين التصميم البنياني للإلكترونيات النانوية، وقد عمل سابقا في تصميم الدارات المنطقية والمصرِّفات ونُظُم التشغيل والتركيب المنطقي ومعالجة الإشارات الرقمية، ونُظُم الأمن الحاسوبي والشبكات. أما* **ويليامز** *فهو زميل رفيع المستوى في مختبرات HP ومدير البرنامج QSR، إذ يرأس فريقَ عمل متعدد المجالات يقوم بتصميم وبناء دارات نانوية جديدة واختبارها؛ وقد ركَّز في الماضي على كيمياء وفيزياء الحالة الصلبة، ويَعْكفُ حاليا على دراسة الموضوعات المشتركة بين العلوم النانوية وتقانة المعلومات.*

مراجع للاستزادة

Configurable Computing. John Villasenor and William H. Mangione-Smith in *Scientific American*, Vol. 276, No. 6, pages 66–71; June 1997.

A Defect-Tolerant Computer Architecture: Opportunities for Nanotechnology. J. R. Heath, P. J. Kuekes, G. S. Snider and R. S. Williams in *Science*, Vol. 280, pages 1716–1721; June 1998.

Computing with Molecules. Mark A. Reed and James M. Tour in *Scientific American*, Vol. 282, No. 6, pages 86–93; June 2000.

Feynman Lectures in Computation. Paperbound edition. Richard P. Feynman. Edited by Tony Hey and Robin W. Allen. Perseus Books Group, 2000.

The International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) Web site is at http://public.itrs.net/

Scientific American, November 2005



ذيفان مسكن للألم(*)

وعد العلماء على مدى أعوام طويلة بتطوير فئة جديدة من الأدوية مستمدة من الأحياء البحرية. وقد تمت الموافقة مؤخرا على تسويق دواء مسكن للألم هو عبارة عن نسخة اصطناعية من ذيفان الحلزون، وأصبح بذلك واحدا من أوائل الأدوية البحرية المنشأ.

<G. ستكس>

كانت السنوات الخمس عشرة الماضية من أفضل السنوات بالنسبة إلى المعالجين بالتنويم المغنطيسي ومعلمي اليوكا وممارسي الوخز بالإبر. فقد كانت الوعود بتسكين آلامهم عن طريق مختلف أشكال الطب البديل تبدو منطقية على ضوء سيل من التقارير السلبية الخاصة ببعض الأدوية، مثل Vioxx و Celebrex و Aleve، واعتراف الإذاعي الشهير <R. ليمبو> بإدمانه على المسكنات.

إلا أن المرضى الذين يفضلون استعمال الأدوية على التأمل لم يفقدوا الأمل، فقد وافقت «إدارة الأغذية والأدوية» الأمريكية في نهاية الشهر 12 على تسويق دواءين جديدين أُعدّا لمعالجة الآلام المعندة(1) على مضادات الالتهاب والأفيونيات Opiates وهما الصنفان الرئيسيان من الأدوية المسكنة للألم. وقد رحب الأطباء الاختصاصيون بهذه الأدوية. يقول <E. مالكسكي> [من جامعة «أوريكون» للصحة والعلوم] «لقد كنا مرتبكين لدى معالجة الألم بالأفيونيات والمركبات الشبيهة بالأسبيرين، فقد عرف الأفيون قبل ما يزيد على ألفي عام، أما الأسبيرين فقد عرف قبل ما يقرب من مئتي عام.»

كثيرا ما يعالج الألم المعند بأدوية أعدت في الأصل لمعالجة حالات أخرى. فقد أقرت «إدارة الأغذية والأدوية» الأمريكية (FDA) في 2005/12/31 استعمال الدواء Lyrica (pregabalin) الذي تصنعه شركة «فايزر» لمعالجة آلام الاعتلال العصبي الناجم عن الداء السكري والحلأ النطاقي(2). كما استعملت مضادات الاختلاج(3) أحيانا ومن بينها الدواء Lyrica لتخفيف الألم من دون الحصول على موافقة نظامية. وقد وافقت شركة فايزر في عام 2004 على دفع مبلغ 430 مليون دولار كغرامات جزائية ومدنية لأن فرعها Warner Lambert روّج لاستعمال أحد أدوية الصرع، نيورونتين Neurontin لمعالجة آلام الاعتلال العصبي، كما روج لغيرها من الاستعمالات قبل أن تحصل ڤايزر على الموافقة على هذه الاستعمالات عام 2000.

أما المسكّن الذي أقرته إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية في الشهر 12(2005) فلم يثر الضجة التي أثارها Lyrica. يتطلب هذا الدواء الذي يدعى پرايلت Prialt (Ziconotide) من صنع الشركة إيلان ELAN، غرس مضخة في الجسم أو استعمال مضخة خارجية لحقن الدواء بوساطة القثطرة في السائل الدماغي الشوكي، وهي تقنية مخصصة لإعطاء المورفين للمرضى الحرجين المصابين **بالإيدز** AIDS أو بالسرطان. قد لا يسبب «البرايلت» الدهشة في الحي التجاري بنيويورك، إلا أنه من منظور علماء الأعصاب وعلماء الأدوية أكثر أهمية إلى حد كبير من الدواء السابق. ويلاحظ <A. باسباوم> [أستاذ التشريح في جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو] «أنه بالإمكان القول إنه أول دواء مسكن للألم بدأ اختباره في الحيوان، ثم استعمل بعد ذلك عند المرضى، بخلاف الأدوية الأخرى التي استعملت في البدء عند الإنسان لغايات متعددة، ثم اختبرت بعد ذلك عند الحيوان للتثبت من فعلها المسكن للألم. ويضيف قائلا: «إن هذا برهان رئيسي على أن هناك صنفا جديدا من الأدوية يستحق الدراسة.»

إن الدواء «برايلت» هو نسخة اصطناعية (تركيبية) من ذيفان **الحلزون المخروطي** Conus Magnus، وهو حيوان رخوي يعيش في منطقة بين المحيطين الهادئ والهندي، ويعد البرايلت من أوائل الأدوية التي بيّنت أن الأحياء البحرية، ولا سيما اللافقاريات، تبعث الأمل لدى الباحثين بالكشف عن أدوية جديدة.

بدأت المسيرة التي أدت إلى «برايلت» في أوائل السبعينات عندما عاد <B. أوليڤرا> إلى موطنه في الفليبين وقام بإنشاء مختبر فيه، وذلك بعد أن أنهى بحثا بعد الدكتوراه في جامعة «ستانفورد». وقد ساعد <أوليڤرا> في «ستانفورد» على عزل وتنقية **ليكاز الدنا** DNA Ligase وهو إنزيم يقوم بربط أجزاء

(*) A TOXIN AGAINST PAIN

(1) intractable pain
(2) shingles
(3) anticonvulsanto



حلزون مخروطي يحقن سمه في الفريسة مستخدما حيزومه proboscis المزود بإبرة معقوفة harpoon في نهايته. أخذت هذه الصور عند تقديم الطعام للحلزون في المختبر بجامعة «يوتا».

الدنا. وقد أراد متابعة أبحاثه عن هذا الإنزيم في الفليبين إلا أنه لم يتمكن من الحصول على التجهيزات اللازمة لذلك. وبصفته هاويا لجمع الأصداف كان يتساءل عما إذا كان **الحلزون المخروطي السام** cone snails يحتوي على جزيئات قادرة على إحضار القنوات العصبية والتي يمكن استخدامها من قبل الإخصائيين بالأعصاب كما يستخدمون ذيفان **الأسماك المنتفخة** Puffer fish أو ذيفان أفاعي تايوان. ويذكر ‹أوليڤيرا› قائلا: «لقد بدأت العمل من دون أية رؤية واضحة،» ويضيف «لقد كنت أبحث بشكل خاص عن مشروع منتج للعمل عليه.»

في نهاية الأمر تمكن ‹أوليڤيرا› من الحصول على وظيفة تعليمية في جامعة «يوتا»، واعتزم التخلي عن أبحاثه عن ذيفان الحلزون والعودة إلى أبحاثه السابقة عن الدنا. في عام 1978، أي بعد عدة سنوات من عودة ‹أوليڤيرا› إلى أمريكا، أبدى ‹C. كلارك› [وهو طالب غير متخرج، عمره 19 عاما ويعمل في مختبره] اهتماما بذيفانات الحلزون. وأراد ‹كلارك› أن يعرف ماذا سيحدث إذا حقن بعض الپپتيدات المئة التي يتألف منها سم الحلزون المخروطي القاتل المسمى geographus في دماغ الفأر مباشرة بدلا من حقنها في البطن. لم يكن ‹أوليڤيرا› متفائلا من نتيجة هذه التجارب إلا أنه سمح لـ ‹كلارك› بالعمل. ولدهشة الجميع أحدثت هذه الپپتيدات أشكالا متعددة من السلوك. فقد جعل أحد الپپتيدات الفأر يغط في النوم في حين جعل پپتيد آخر الفأر يرتعد. وحرّض پپتيد آخر الحكة عند الفأر.

وقد تم تدريجيا تعرف العديد من أنواع الحلزون المخروطي وذيفاناتها المختلفة ـ هناك خمسمئة نوع من الحلزون المخروطي تُنتج على الأقل خمسين ألف نوع من الپپتيدات (قارن هذا الرقم مع عشرة آلاف قلواني أمكن تمييزها في جميع أنواع النباتات) وقد دعا ذلك ‹أوليڤيرا› إلى التخلي عن أبحاثه حول الدنا، وكرّس نفسه لمعرفة كيفية حدوث هذه التنوعات من التطور خلال فترة قصيرة من الزمن نسبيا تقدر بخمسين مليون سنة. وحاول في الوقت نفسه معرفة كيف تعمل قنوات الأيونات في الجملة العصبية، وكيف يمكن استعمال هذه الذيفانات في الدراسات العلمية العصبية وفي تطوير أدوية جديدة. ويقول ‹أوليڤيرا› «إن الحلزونات هي صيادلة الأعصاب في الطبيعة.»

البحث عن السم(*)

أثارت الأبحاث التي نشرها فريق ‹أوليڤيرا› اهتمام ‹G. ميليانش› [وهو إخصائي بالكيمياء الحيوية، يعمل في جامعة جنوب كاليفورنيا ويقوم بدراسة انتقال الإشارات العصبية عبر **المشابك** synapse، وهي نقاط الاتصال بين العصبونات]. كان

(*) In Search of Venom



<ميليانتش> منهمكا في تمييز وتصنيف الأنماط المختلفة لقنوات الكالسيوم التي تنقل الإشارات الكيميائية إلى الخلايا في الجملة العصبية. حصل <ميليانتش> على منحة من المعهد الوطني للصحة كي يحاول تطوير ذيفانات الحلزون المخروطي، لاستعمالها كمسابر لتحديد وظيفة السبل الجزيئية المختلفة. وقد بذل <ميليانتش> جهدا كبيرا حتى حصل على قطرة واحدة فقط من السم الثمين عن طريق **احتلاب** milking الحلزون، ما جعل العرض الذي تلقاه لشغل وظيفة في شركة حديثة العهد للتقانة الحيوية مغريا. أنشأ هذه الشركة واسمها Neurex عام 1986 أستاذان من جامعة «ستانفورد» وكانت تهدف إلى الجمع بين التقانة الحيوية والعلوم العصبية، واستخدمت كيميائيين من الطراز الأول مختصين بالپيتيدات من جامعة كاليفورنيا (UCSF)، حيث عمل <ميليانتش> عندما كان طالبا بعد مرحلة الدكتوراه.

أقنع <ميليانتش> وزملاؤه [في قسم الأبحاث بشركة Neurex] القيام بمهمة صعبة تتمثل في **تخليق** synthesize الپيتيدات المخروطية ـ أوميكا Omega Conopeptide وهي ذيفانات تقوم بإحصار بعض قنوات الكالسيوم. تستجيب القنوات عادة للتبدل في **الفلطية** voltage **عبر الغشاء** الخلوي بأن تسمح بتدفق أيونات الكالسيوم، مما يسهّل انتقال الإشارات الكيميائية عبر المشابك الواقعة بين الخلايا العصبية. تأتي بعض الپيتيدات المخروطية ـ أوميكا من الحلزون المسمى C.Magus وهي سامة للأسماك لكنها غير سامة للإنسان. في البدء كانت شركة Neurex متشككة في جدوى مشروع <ميليانتش> إلا أنها تخلت عن تحفظها عندما انتهى مشروعها السابق، الهادف إلى عزل پيتيدات مفيدة طبيا من أدمغة الأبقار، إلى الفشل. وخلال فترة قصيرة كانت نوركس قادرة على تصنيع الپيتيدات المخروطية أوميكا بالغرامات.

في ذلك الحين كان <ميليانتش> قد أعد قائمة بالاستعمالات الممكنة للأدوية التي يمكن تطورها من أحد الپيتيدات المخروطية المهمة التي عزلت لأول مرة في مختبر <أوليڤيرا>. لم يكن تسكين الألم بادئ الأمر على رأس القائمة، إلا أنه انتقل بسرعة إلى المقدمة. وقد بينت التجارب المختبرية أن **الذيفان المخروطي ـ أوميكا** Omega conotoxin الذي أُطلق عليه اسم SNX-III (وسمي في وقت لاحق Ziconotide/ Prilat) قد يكون مفيدا في معالجة الصرع، إلا أن تجربته على الفئران كشفت فشله التام، لا بل إن إعطاءه في الواقع يثير الارتعاش. وقد كان الموضوع التالي الوارد في القائمة يتعلق باستعمال الذيفان وريديا لوقاية الخلايا الدماغية من الأذى الذي يلحق بها بسبب

(*) From Snail to Patient

تحضير الأدوية من ذيفانات الحلزون المخروطي(*)

اسم الشركة	اسم الدواء	مرحلة التجارب السريرية	العملية الجزيئية المستهدفة	نوع الحلزون المخروطي
Cognetix «سولت ليك سيتي»	CGX-1160، لمعالجة الألم المزمن.	المرحلة I لعلاج السرطان. المرحلة II لعلاج إصابات النخاع الشوكي.	مستقبلات النورتنسين Neurotensin.	geographus (آكل السمك).
Elan دبلن، أيرلندا	برايلت (Ziconotide).	مرخص في الولايات المتحدة وأوروبا.	قناة الكالسيوم الحساسة للڤولتاج.	magus (آكل السمك).
الأدوية الاستقلابية (الأرضية) ملبورن، أستراليا	ACV-1، لمعالجة الألم العصبي وتسريع شفاء العصبونات المتأذية.	لم يصل بعد إلى مرحلة التجارب على البشر.	مستقبلات الأستيل كولين النيكوتينية.	victoriae (آكل الرخويات).
Xenome برسباين ـ أستراليا	XEN2174، لتخفيف الألم المزمن.	المرحلة I.	ناقل النور إبينفرين (يزيل الناقل العصبي نور إبينفرين من المشابك).	mormoreus (آكل الرخويات).
	TIA، لمعالجة فرط تنسج البروستاته (الموثة) الحميد ولمعالجة الآفات العصبية التنكسية والاضطرابات القلبية.	لم يدخل بعد مرحلة التجارب على البشر.	المستقبلات الأدرينالية ألفا-1.	tulipa (آكل السمك).

لقد صممت المرحلة I من التجارب السريرية لتقدير سلامة العقار ومدى تحمله وكذلك تأثيراته في الجسم؛ أما المرحلة II من التجارب فتتفحص فعالية العقار ومدى وقايته.

نقص الأكسجين أثناء السكتة الدماغية أو رضوض الرأس. وقد بدأت الشركة عام 1993 بالمرحلة الأولى من التجارب السريرية (الإكلينيكية) لاختبار قدرة الدواء على حماية الجملة العصبية من الأذى، إلا أن إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية (F.D.A) أوقفت هذه الدراسة مؤقتا عندما تبين أن الذيفان SNX-III يسبب هبوطا في الضغط الدموي.

لما يئست شركة «نوركس» من تبديد الأموال من دون جدوى بدأت بالاستعداد لإجراء تجربة سريرية على الذيفان SNX-III لتسكين الآلام الشديدة. فقد افترض علماء الشركة أن هذا المستحضر قد يفيد في تسكين الآلام لأن بعض المشاهدات بيّنت أن أحد السبل التي يعمل بها المورفين هو إغلاق أحد الأنماط النوعية من قنوات الكالسيوم (النمط N). وقد بينت الاختبارات **الكهرفيزيولوجية** electro physialogical و**الشعاعية الموسومة** rudiolabel أن الذيفان SNX-III يرتبط بشكل انتقائي بالنمط N من قنوات الكالسيوم. إن التأثير الحاصر لهذا المستحضر يمنع القناة من الانفتاح ومن اندفاع أيونات الكالسيوم إلى داخل الخلية. تعجل أيونات الكالسيوم انتقال المنبهات عبر المشابك إلى النخاع الشوكي ومنه إلى الدماغ حيث تُدرك على شكل ألم. ويعلق «ميليانتش» على ذلك بالقول: «لقد كان ذلك الدليل الواضح الذي سمح لنا بالتحرك إلى الأمام. فقد بينت الاختبارات اللاحقة على الحيوان أن تأثيرات هذا المستحضر تتجلى بعد إعطائه بجرعة تقل ألف مرة عن جرعة المورفين من دون أن يسبب **الإدمان** addiction أو **التحمل** tolerance.

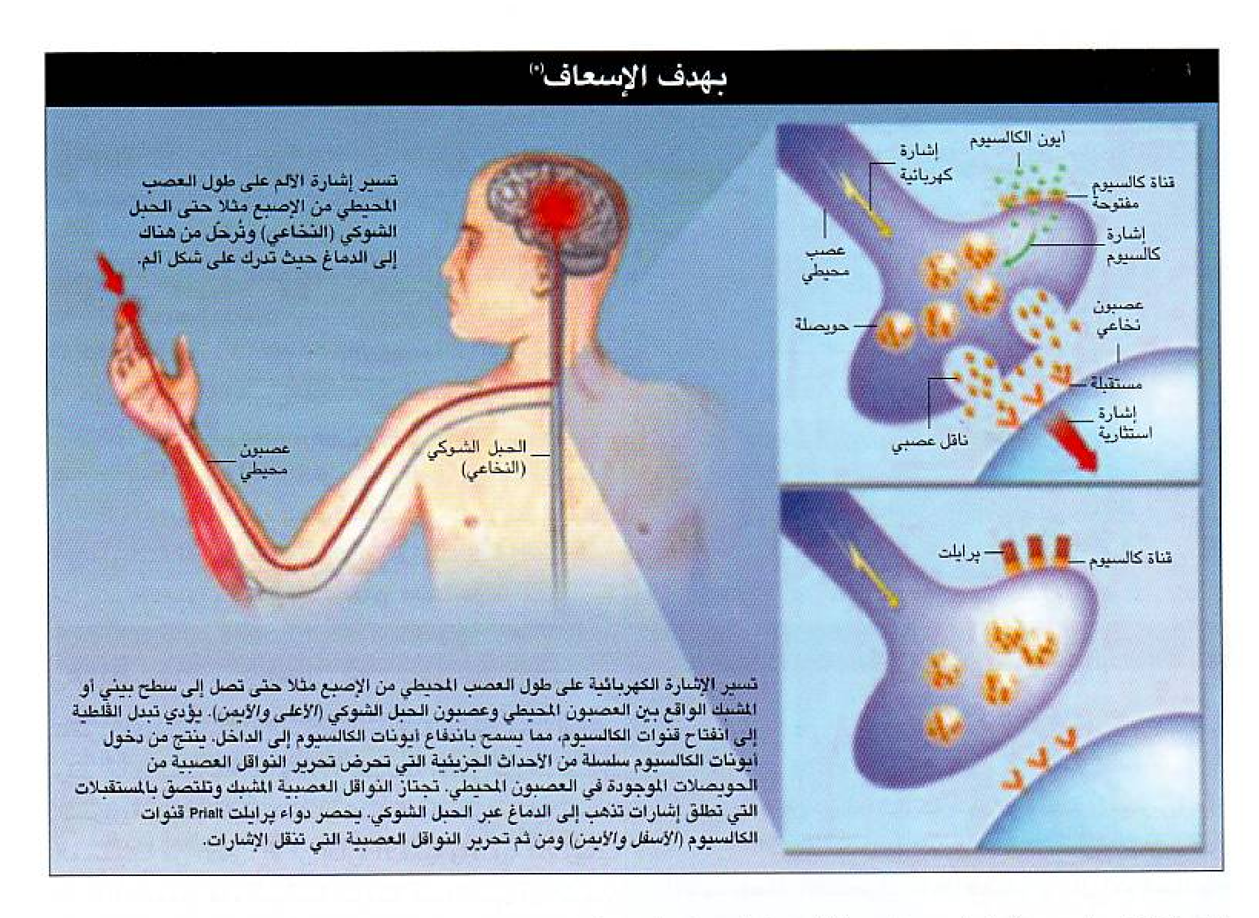
هدية الطبيعة(**)

في عام 1995 بدأت شركة «نوركس» تجارب سريرية على الذيفان SNX-III عند المصابين بآلام وخيمة ولم يمكن تسكين آلامهم بإعطاء الأفيونيات داخل القراب (داخل الأم الجافية) والتي يتم إيصالها إلى السائل الدماغي الشوكي بوساطة مضخة مغروسة في الجسم. وقد حصرت إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية استعمال هذا المستحضر الصنعي بالأشخاص الذين وصلوا إلى المراحل الأخيرة من مرضهم بسبب تأثيراته الجانبية التي كشفت عنها التجارب السابقة، وكان يعطى للمرضى عن طريق المضخة المغروسة كما هي الحال في الأفيونيات. وبعد سنوات المحاولات باستخدام متواليات من الحموض الأمينية كان الدواء الذي أعطي للمرضى في كلتا التجربتين السريريتين عبارة عن نسخة اصطناعية (تركيبية) من الببتيد الموجود في الحلزون. ويعلق «ميليانتش» قائلا: «بعد اختبار مئات من المضاهئات عدنا إلى استخدام المستحضر الذي أعطتنا إياه الطبيعة.»

عندما بدأت التجارب السريرية لتسكين الآلام تبيَّن بسرعة أن الجرعات المستخدمة كانت خاطئة. فقد ظهر عند بعض المرضى تأثيرات جانبية خطيرة أخذت شكلا من عدم التناسق إلى الإهلاسات السمعية والبصرية. وقد بينت التجارب اللاحقة أن الجرعات يجب أن تنقص وأن الزيادة المتدرجة في الجرعات يجب أن تتم في زمن أطول إلى حد كبير. وقد تراجعت التأثيرات الجانبية في بعض الحالات فقط. وقد أصيب أحد المرضى بالهذيان الذي لم يتوقف إلا بالمعالجة الكهربائية المضادة للاختلاج. وعندما وافقت إدارة الأغذية والأدوية

Making Drugs From Cone Snail Toxins (*)
Nature's Gift (**)

بهدف الإسعاف(*)



تسير إشارة الألم على طول العصب المحيطي من الإصبع مثلا حتى الحبل الشوكي (النخاعي) وترحل من هناك إلى الدماغ حيث تدرك على شكل ألم.

تسير الإشارة الكهربائية على طول العصب المحيطي من الإصبع مثلا حتى تصل إلى سطح بيني أو المشبك الواقع بين العصبون المحيطي وعصبون الحبل الشوكي *(الأعلى والأيمن)*. يؤدي تبدل القطبية إلى انفتاح قنوات الكالسيوم، مما يسمح باندفاع أيونات الكالسيوم إلى الداخل. ينتج من دخول أيونات الكالسيوم سلسلة من الأحداث الجزيئية التي تحرض تحرير النواقل العصبية من الحويصلات الموجودة في العصبون المحيطي. تجتاز النواقل العصبية المشبك وتلتصق بالمستقبلات التي تطلق إشارات تذهب إلى الدماغ عبر الحبل الشوكي. يحصر دواء برايلت Prialt قنوات الكالسيوم *(الأسفل والأيمن)* ومن ثم تحرير النواقل العصبية التي تنقل الإشارات.

الأمريكية على استعمال الدواء بينت أن من الواجب تكرار مراقبة المرضى بحثا عن الأعراض العصبية والنفسية.

في عام 1998 قدمت شركة «إيلان» للأدوية عرضا لشراء شركة نوريكس التي وافقت بسرعة على ذلك العرض. وعلى الرغم من أن دراستين سريريتين تناولتا المرحلة الأخيرة من التجارب السريرية أظهرتا أن الذيفان SNX-III يخفف الألم بشكل واضح أكثر من الدواء الغفل، فإن المسؤولين عن شركة نوريكس كانوا يعلمون أن إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية ستطلب إليهم على الأرجح إجراء تجربة سريرية أخرى قبل السماح باستعماله وذلك بسبب ظهور تأثيرات جانبية لهذا الدواء. كما قامت شركة نوريكس بإجراء التجارب النهائية التي تناولت قدرة الدواء على وقاية الخلايا الدماغية من أثر الرضوض، إلا أنها وضعت نتائج هذه التجربة جانبا لأن الدراسات السابقة لم تكن مشجعة. ومع أن شركة نوريكس حصلت على ترخيص لتسويق دواء خافض للضغط الشرياني لا علاقة له بذيفان الحلزون، فإن موردها من هذا الدواء لم يكن كافيا للتغلب على صعوباتها المالية إلى أن حصلت في نهاية الأمر على الموافقة على دوائيها الرئيسيين.

اجتاز الذيفان SNX-III والذي يدعى حاليا «برايلت» Prialt بنجاح تجربة سريرية أخرى، وتجنب بذلك كارثة مالية نجمت عن ممارسات مالية مريبة في شركة «إيلان» ومنها اشتراكها في عدد من المضاربات التجارية. تلقت «إيلان» بتاريخ 12/28 موافقة إدارة الأغذية والأدوية الأمريكية على تسويق «برايلت» لاستعماله في معالجة الآلام العصبية الشديدة وغيرها من الآلام التي لا تستجيب للطرق الأخرى من العلاج. تمت الموافقة على «برايلت» بعد نحو ثماني سنوات من الموعد المتوقع لذلك، وإذا وصف الأطباء هذا الدواء لعشرين في المئة من نحو 55 ألف مريض يتلقون العلاج عن طريق قثطرة داخل القراب (الأم الجافية) فإنه سيوفر للشركة دخلا صافيا يزيد على 150 مليون دولار سنويا استنادا إلى أن تكلفة معالجة المريض سنويا تقدر بنحو 15 ألف دولار. يقول ‹ميليانتش›: «إن ذلك أمر مثير للغاية على الرغم من وجود تقلبات متتالية في مسيرة هذا الدواء كان هذا أحدها.» قد تكون هذه الأنباء أكثر مدعاة للسعادة بالنسبة إلى الأطباء الذين يعالجون المصابين بآلام مزمنة. ويقول ‹M. ليونك› [وهو طبيب أشرف على التجارب السريرية لهذا الدواء ويعمل أيضا مستشارا مأجورا لشركة إيلان] «لقد سكّن برايلت آلام المرضى حيث فشلت جميع الأدوية الأخرى.»

سيكون «برايلت» على الأرجح آخر مغامرة تقوم بها شركة «إيلان» في مجال ببتيدات الحلزون، إذ إن هذه الشركة لم تحافظ على قدراتها الموروثة من شركة نوريكس للقيام بأبحاث في مجال

(*) Targeted Relief

ذيفانات الحلزون المخروطي، ومع ذلك فإن الحلزونات المخروطية قد يكون لديها الكثير لتقدمه كونها كيميائيي الطبيعة. وقد نشر اثنان من **الأحيائيين (إخصائيي البيولوجيا)** biologist [من جامعة هارڤارد] مقالة في وقائع جلسات الأكاديمية الوطنية للعلوم الولايات المتحدة، يشير إلى أن نوعين من الحلزونات المخروطية تملك جينات للذيفان قد تكون الأسرع تطورا على الكرة الأرضية، وقد حصل ذلك

الذيفانات صارت أشد صرامة على الرغم من أن بعض هذه السموم لا يؤذي الإنسان. يقول ‹أوليڤيرا›: «يراودنا الرعب باستمرار من انتهاك القواعد التي لا نعلم عنها شيئا.» ومع ذلك فإن الحذر له ما يبرره، إذ إن حجم الپپتيدات الصغير يجعلها سهلة التركيب (الاصطناع)، مما كان يغري في بعض الأحيان صانعي الأسلحة البيولوجية. وقبل أن يصدر الرئيس ‹B. يلتسين› أوامره بإيقاف برنامج الأسلحة الحيوية



قد تكون الجينات المصنعة لذيفانات الحلزون المخروطي هي الأسرع تطورا في العالم، ويشكل تنوعها منجما ثمينا لصناعة الأدوية.

بغية التكيف مع الفرائس المتبدلة التي تعيش في سلسلة الصخور البحرية في المناطق الاستوائية.

تستعد بعض الشركات لاستثمار هذه الثروات. فقد أنشأ ‹أوليڤيرا› [مؤسس هذا الحقل العلمي] شركة Cognetix في «سولت ليك سيتي». كما أن شركتين أسترالیتين للتقانة الحيوية وهما Xenome و Metabolic Pharmaceutical بدأتا بتطوير أو إجراء التجارب على أدوية أساسها پپتيدات الحلزون موجهة في الدرجة الأولى لمعالجة الألم المزمن. وإن الجهود المبذولة حاليا لتطوير أدوية تستخدم جزيئات عضوية صغيرة تعطى عن طريق الفم وموجهة إلى قنوات الكالسيوم أو غيرها من القنوات قد تتفوق في بعض الحالات على البرايلت وغيره من الأدوية الپپتيدية.

ومع ذلك فإن مصممي الجزيئات العضوية الصغيرة قد يستخدمون پپتيدات الحلزون كنقطة انطلاق لاستنباط أدوية جديدة. ومع ازدياد الاهتمام بقدرة الحلزونات المخروطية على تكوين المواد الكيميائية، فإن البلدان التي تعيش فيها هذه الحلزونات قد تصبح أكثر حرصا على تملك هذه المناجم الجينية الغنية. فقد أثارت الصحافة الفليپينية في بعض الأوقات موضع **القرصنة الحيوية** biopiracy. كما أن رسالة وجهها إلى مجلة *Science* عام 2003 باحثون من كلية الطب بجامعة هارڤرد وجامعة «يورك» وكلية الطب بجامعة شيكاگو ينتقدون فيها بشدة الأخطار التي تتعرض لها الحلزونات المخروطية وبيئتها بفعل هواة جمع الحلزون واستثمار الشواطئ والتلوث والتبدلات المناخية وغيرها من الأسباب. ويقدر هؤلاء الباحثون أن مئات الآلاف من هذه الحيوانات تستخدم كل عام من قبل الباحثين الأمريكيين، على الرغم من أن الإجابة عن تلك الرسالة ذكرت أن العلماء لا يحتاجون إلى أكثر من 5000 حلزون كل عام لاستخلاص ذيفاناتها وتحليلها ثم تركيبها، ويحتفظ أحد المختبرات بمزرعة للحلزون تمكّن العاملين من احتلاب الرخويات من دون القضاء عليها.

قد تكون الأسلحة الحيوية مثيرة للقلق مثل القرصنة الحيوية، فمنذ 2001/9/11 وجد العلماء المنهمكون في الأبحاث المتعلقة بذيفان **الحلزون المخروطي** cone snail أن القواعد التي تنظم التعامل مع

الروسي عام 1992، كان الباحثون يحاولون إدخال جينة الپپتيد القاتل من الحلزون المخروطي C. geographus في جينوم (مجين) ڤيروس الجدري، وكان من شأن ذلك أن يوجه ضربة مزدوجة مدمرة للضحايا. لقد أخفق الفريق الروسي في تركيب هذا النوع الغريب من ڤيروس **الجدري الهجين** conotoxin الحامل لذيفان الحلزون المخروطي الذي كان بإمكانه أن يقتل ما يقرب من مئة في المئة من المصابين. ومن المرجح أن ما كان ينقصهم هو الوقت فقط. يقول ‹S. پوپوف› [وهو باحث رئيسي في مجال **الأسلحة البيولوجية** Bioweapons ويعمل أستاذا للبيولوجيا في جامعة جورج ميسن] «كان بالإمكان حل هذه المشكلات.

إن قصة الحلزون المخروطي، هذا الرخوي الوضيع الذي صعد إلى قمة سلسلة الأغذية البحرية، ستستمر في إدهاش الباحثين. ففي عام 1998 نشر سياسي تايلندي بارز، تحت اسم مستعار هو ‹P. أديركس›، كتابا بعنوان «التأثير كينك كونك The King Kong Effect تحدّث فيه عن مؤامرة لاغتيال رئيس أمريكي باستخدام سم الحلزون المخروطي. ولا يحتاج البيولوجيون إلى استخدام خيالهم، إذ إن پپتيدات خمسين ألف حلزون مخروطي ستجعلهم يستمرون في تأملاتهم حول هذه المعجزة التطورية لعدة عقود قادمة. ■

مراجع للاستزادة

A New Way to Spell Relief: V-e-n-o-m. W. Wayt Gibbs in *Scientific American*, Vol. 274, No. 2, pages 20–21; February 1996.

Secrets of the Killer Snails. Alisa Zapp Machalek. Findings, National Institute of General Medical Sciences, September 2002. Available at **www.nigms.nih.gov/news/findings/sept02/snails.html**

Ziconotide: Neuronal Calcium Channel Blocker for Treating Severe Chronic Pain. G. P. Miljanich in *Current Medicinal Chemistry*, Vol. 11, No. 23, pages 3029–3040; December 2004.

A prodigious resource for all things cone snail, maintained by Bruce Livett, professor of biochemistry and molecular biology at the University of Melbourne, can be found at the Cone Shells and Conotoxins site: **http://grimwade.biochem.unimelb.edu.au/cone/index1.html**

منع الأشعة السينية من النفاذ(*)

محاولات طبيب حماية نفسه من خطر الإشعاع أدخلته في تجارة الثياب المستعملة.

إذا كانت الحاجة أمّ الاختراع فإن حماية الذات هي بالتأكيد واحدة من أمهات هذه العائلة. والحالة التي توضح هذا الأمر هي من بنات أفكار ‹F .R. ديميو› [وهو طبيب تخدير يعمل في ولاية فلوريدا] وكثيرا ما يأخذ صورا شعاعية لمرضاه الذين يعانون آلاما مزمنة في الظهر والعنق.

وبسبب قلق ‹ديميو› من **الضرر التراكمي** cumulative الذي يمكن أن تلحقه الأشعة السينية في جسده بدأ بحثه قبل سنين عديدة عن طريقة لحماية نفسه على نحو أفضل من الطريقة المعتادة التي تتلخص في ارتداء صدرية طبية ثقيلة من الرصاص أو قفازات أو درع تقي الغدة الدرقية أو نظارات واقية من الزجاج الرصاصي أو الاضطرار لمغادرة الغرفة مرارا أثناء التصوير بالأشعة السينية للبقاء على مسافة أمان كافية من مصدر الإشعاع.

وبعد ثماني سنوات من البحث المشترك توصل هذا الطبيب المُبادر إلى صنع قماش فريد أساسه مركب پوليميري سماه ديمرون Demron. وهذا القماش لا يوقف فقط الأشعة السينية والإصدارات النووية (أشعة كاما وجسيمات ألفا وجسيمات بيتا) بنفس كفاءة الألبسة الواقية المستخدمة حاليا والتي أساسها الرصاص، وإنما هو أيضا أكثر مرونة وارتداؤه أسهل كثيرا؛ في حين لا يمنع البلاستيك الخفيف الوزن والشائع الاستعمال مرور الأشعة السينية وأشعة كاما على الإطلاق.

إضافة إلى ذلك، يبدو أن هذه الأقمشة الجديدة غير نفوذة للكيماويات والمواد البيولوجية الحربية القاتلة. ولهذا، يمكن استخدامها بِزّةً كاملة واقية لرجال الطوارئ وللعاملين في مجال المواد الخطرة و«أوائل المنقذين في مسارح الكوارث». ويقوم حاليا خبراء في وزارة الدفاع الأمريكية بتقويم فعالية ديمرون لدى استخدامه في البزّات الواقية من المؤثرات النووية والبيولوجية والكيماوية تجاه المواد الكيميائية الحربية الشائعة، مثل غاز الخردل والغاز VX وغاز الأعصاب والغاز سارين sarin وتبلغ تكلفة الرداء الكامل للجسم 600 دولار تقريبا. إن بالإمكان أيضا تفصيل هذا القماش الجديد لصنع خيام واقية من الإشعاع، وكذلك لاستخدامه بطانةً للطائرات والمركبات الفضائية وأغطيةً للتجهيزات الحساسة وألبسةً طبية وقائية.

كان ‹ديميو› قلقا بسبب الارتفاع المستمر **لجرعة** dosage الإشعاع الكلية التي يتعرض لها. فأخذ يتقصى طريقة لإنقاص تعرّضه وتعرض العاملين معه. ويذكر ‹ديميو›: «لقد دخلت مصلحة تحجيب الإشعاع لأسباب منها حماية الذات والعيش مدة أطول.»

إن من الصعب على أولئك الذين يمارسون العمل في مجالات الأشعة السينية والمواد النووية الحد من الجرعة التي يتعرض لها الواحد منهم. ويعلق ‹ديميو›: «إن معظمهم، على سبيل المثال، يعمل بأقسام مختلفة في المستشفيات وإن كل قسم يستخدم مجموعة مختلفة من البطاقات الصدرية لقياس الجرعة. وبالكاد نجد من يعمل على جمع كل الجرعات المقيسة بصورة منفصلة.» وتعقيد الأمر هو مشكلة دائمة، ذلك أن الأنظمة تمنع العاملين في المجالين الطبي والإشعاعي من الاستمرار في وظائفهم إذا كانوا قد تجاوزوا الجرعات التراكمية الآمنة. ويقول ‹ديميو›: «لا يرغب الناس عادة في معرفة جرعتهم الإجمالية لأنهم لا يريدون أن يجبروا على توقيفهم عن العمل، والقلة منهم ترغب في ارتداء صدرية أو مئزر رصاصي أثناء العمل (وهذه تكلف ما بين 85 و 600 دولار) وتكون في العادة مصنوعة من صفائح مسحوق الرصاص الثقيل الحمل والمربك في قالب پوليميري.»

وعلى الرغم من أن خبراء الأمان الإشعاعي الذين استشارهم ‹ديميو› كانوا متشككين، فقد بدأ بتمويل مشاريع بحثية وظف فيها خبراء في الكيمياء وعلوم المواد بغية البحث عن مواد خفيفة مرنة تستطيع إيقاف الأشعة السينية. وفي



البزّات الجديدة تقاوم الإشعاع ومريحة للارتداء لفترات طويلة.

(*) X-RAY PROOFING

النهاية أسس الطبيب شركة في مدينة ميامي سماها «**تقانات الدرع الإشعاعي**» (Radiation Shield Technologies (RST **بغرض تطوير منتجه وتسويقه**. ويستمر «ديميو» في ممارسة مهنة الطب إضافة إلى كونه المدير الرئيسي للشركة.

في البداية درست مجموعة البحث الصغيرة التدريع المعدني، لكن تبين أن ذلك لم يكن سوى واحد من الحلول العقيمة العديدة. فالرصاص سام وثقيل وضخم، ولذلك غض النظر عنه. ويقول «ديميو»: «لقد أبدى النحاس والألمنيوم بعض الاستجابة [في الحجب] لكن لم يكن هناك شيء مفيد جدا. عملنا فيما بعد على تضمين جسيمات معدنية في القماش وحصلنا على بعض براءات الاختراع في ذلك المجال. ثم خضنا في تجارب في محاولة لإيجاد پوليميرات توهن الإشعاع.»

وبعد جهد كبير غير مثمر توصل فريق الشركة RTS إلى مركب پوليميري من الپولي أوريتان والپولي فينيلكلورايد يحتوي على مجموعة متنوعة من جسيمات أملاح عضوية ولاعضوية توقف الإشعاع. إن لمكونات هذه الأملاح أعدادا ذرية[3] عالية، وهي لذلك

ارتدى فريق تطهير المواقع المسممة بزّات[1] الديمرون الواقية[2] لساعات، بل ومارسوا الجمباز وهم يرتدونها.

توقف الإشعاع بكفاءة أكبر. ويقول «ديميو»: «تبدو مادتنا وتتصرف وكأنها مطاط كثيف.»

يعمل القماش ديمرون بطريقتين تبعا لنوع الإشعاع. وكما يوضح «ديميو»، عندما تلاقي الأشعة السينية أو أشعة گاما هذه الجسيمات الملحية المبعثرة فإما أن تمتص (بوساطة الأثر الكهرضوئي) وتستنفد طاقتها عن طريق توليد الحرارة أو أنها تتبعثر وتصبح عند مستوى طاقة مختلف (بوساطة **أثر كومپتون** Compton effect)، ومن ثم تُمتص أو تحرفها الجسيمات المحيطة بها. وهذه الامتصاصات والتبعثرات المتتالية تمنع الإشعاع المؤذي من اختراق أنسجة الجسم. وعندما تضرب جسيمات ألفا وبيتا الديمرون فإن الإلكترونات الموجودة في ذرات الأملاح تحرفها وتبطئها، ومن ثم تمتصها المادة.

وبما أن آلات الأشعة السينية تصدر طيفا من الفوتونات وأن **النُّويدات** nuclides المشعة الشائعة تصدر جسيمات ذات طاقات مختلفة، فينبغي تفصيل المواد المُوقِفة للإشعاع في القماش ديمرون لتناسب هذه الطاقات المختلفة، وتدعى هذه التقنية **التقسية الطيفية** spectral hardening. ويقول «ديميو»: «لكل مادة توهين أضفناها مستوى طاقة جيد للامتصاص أو البعثرة، وهذا يشبه عملية تركيب عوازل صوتية. فلوح من الخشب سمكه بوصة واحدة يوقف بعض الترددات الصوتية، لكن لوحا مشابها مؤلفا من طبقتين سمك إحداهما ربع بوصة وسمك الأخرى ثلاثة أرباع البوصة يوقف عددا أكبر من الترددات.»

يمكن صنع المركب الپوليميري بشكلين: الأول ملاءة من أغشية رقيقة أو أشكال مقولبة عن طريق الحقن. وكان المعروض الأول من الديمرون للشركة RST مصنوعا من طبقتين من القماش إحداهما محبوكة والأخرى غير محبوكة بينهما الغشاء الرقيق. وتكون سماكة القماش الناتج نحو 0.43 مليمتر وكثافته 0.7 غرام للبوصة المربعة تقريبا.

ومع أن كثافة ديمرون تقارب كثافة المادة التي تدخل في صداري الحماية المصنوعة من مكونات أساسها الرصاص، فإنه ينثني ويتغضن وينطوي بسهولة. وقد أثبت هذا القماش الرقيق المطاوع جدارته ضد كل من الأشعة السينية والإشعاع النووي في اختبارات أجريت في مختبر لورنس ليفرمور الوطني وفي مركز الأبحاث النووية نيلي في معهد جورجيا للتقانة وفي قسم الطب الإشعاعي بكلية الأطباء والجراحين التابعة لجامعة كولومبيا. وعلى أية حال ليس من الواضح بعد فيما إذا كان الديمرون يتلف عندما يتعرض لإشعاع طويل الأمد. هذا القماش غير نفوذ للهواء والسوائل ويستطيع أن يقاوم على أقل تقدير ثماني ساعات من التعرض لغازي الكلور والأمونيا الأكّالين.

ولأن الديمرون يسمح بالتخلص من الحرارة عن طريق التبادل الحراري، فإنه يبقى بارد الملمس وهو يطلق الحرارة الداخلية إلى الهواء المحيط به. يقول «ديميو»: «لهذا يمكن استخدامه لتغطية كامل سطح الجسم.» وفي صيف عام 2002 جرّب فريق تطهير المواقع المسممة نماذج أولية لبزّات مصنوعة من الديمرون ليختبروا مدى ملاءمتها للارتداء فترات طويلة. ويقول «ديميو» إن «تقويم صلاحيتها الميدانية كان جيدا. كان باستطاعة الفريق ارتداء البزّات ساعات طويلة كل مرة، حتى إنه كان باستطاعتهم ممارسة الجمباز وهم يرتدونها. أما الألبسة الواقية من الإشعاع والجراثيم والكيماويات المستخدمة حاليا فتشبه حمامات البخار المتحركة، حتى إن الجنود الذين يرتدونها يمكن أن يقضوا نحبهم بسبب «ضربات الحر الصحراوية.»

وفي الشهر 2002/10 تعاقدت الشركة RST مع شركة لصنع الملابس لتصنيع بزّات كاملة لأفواج التدخل السريع والعاملين في التطهير الميداني. أما الخطوة التالية التي سيهتم بها «ديميو» فهي إنتاج قفازات مقولبة بالحقن، إضافة إلى أغطية واقية للتجهيزات حسب الطلب.

يقول «ديميو»: «إن الطلبات على البزّات الواقية تتراكم لدينا. لقد لقيت منتوجاتنا الأولى إقبالا عظيما إلى حد ما.» وقد قطع ديمرون حتى الآن شوطا كبيرا في إثبات أن درعا واقيا من الإشعاع رقيقا مرنا جدا وقابلا للارتداء ليس بالاستحالة التقنية في نهاية المطاف. ■

<S. أشلي>

(1) بزات واقية (مقاومة للمواد الخطرة).

(2) hazmat suits

(3) العدد الذري هو عدد البروتونات في ذرة عنصر معين. (التحرير)

معرفة عملية

أنسجة أنيقة

قمصان باردة(*)

العرق يُبرِّد الجسم بفعل تبخره من الجلد، إلا أن الملابس تحبس هذه الرطوبة فترتفع درجة حرارة الجسم، ما يؤدي إلى تعرّق أكثر. ولتفادي ذلك يعمل صانعو الملابس على تشريب أقمشة الرياضيين بمواد «معالجة للرطوبة» تقوم بامتصاص قطرات العرق وتجف بسرعة ـ وهذه هي بوادر ملابس التقانة العالية التي ستظهر في السوق.

هناك عوامل عديدة تعزّز صناعة هذه المنسوجات، مثل «كوول ماكس» من الشركة دوپون و«مويستكس» من الشركة أزاهي كاساي. فالمصنعون يقومون حاليا **ببثق**[1] extruding پوليسترات متطورة على شكل ألياف ذات نسبة رطوبة منخفضة في حدود 0.5 في المئة، مقابل 4 في المئة في النايلون و6 إلى 7 في المئة في القطن، لذلك فهي تتشرب السوائل وتجف بشكل أسرع. وتتيح تقنيات البثق الجديدة للصانعين إنتاج ألياف ذات مقاطع عرضية غير مألوفة [*انظر الشكل*] تسمح لقطرات العرق بالانسياب بعيدا.

إن صناعة قماش أبرد «هي عملية متقنة تتطلب الموازنة بين عدة مواصفات» على حد قول <M. هانت> [كبير الباحثين الكيميائيين في الشركة «دوپون» للنسيج والداخليات (DPIT)، في «هاي پوينت» بولاية كارولينا الشمالية].

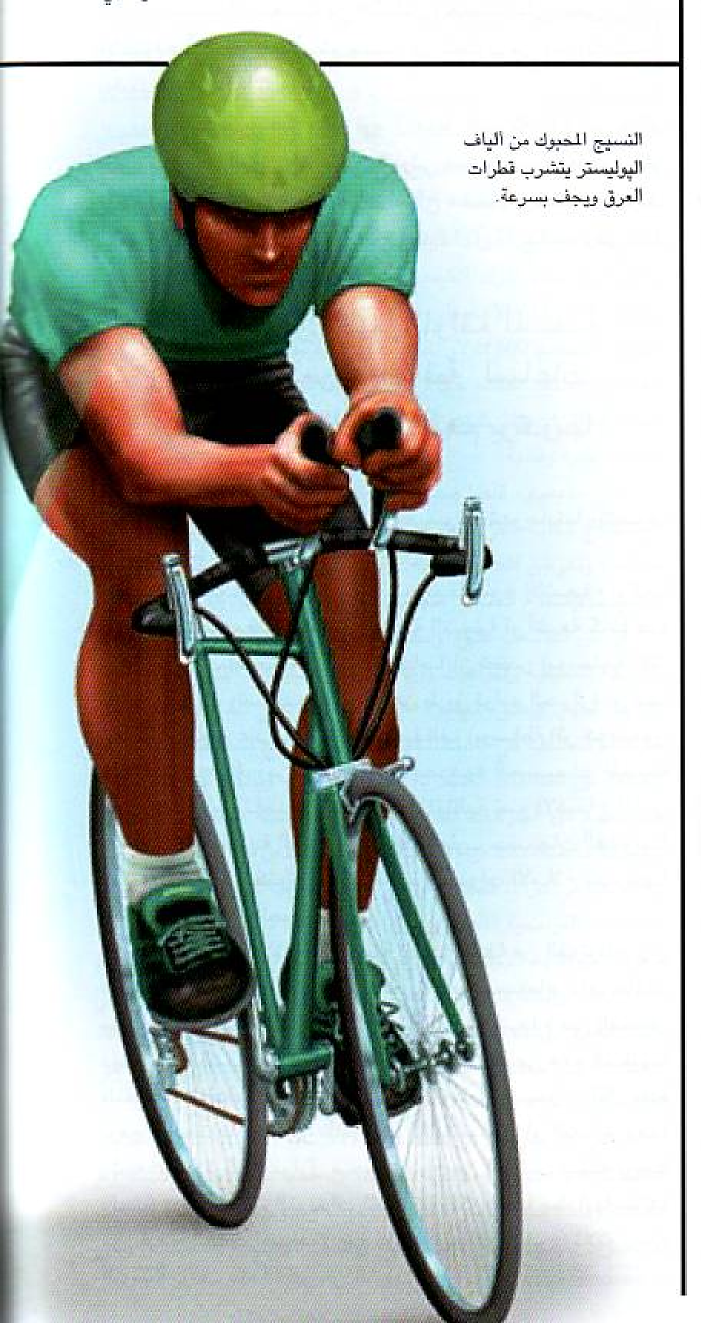
وفي صناعة الملابس الرياضية الشتوية التي تبدد الرطوبة ولكنها تحتفظ بالحرارة، يستخدم المصنعون أليافا مجوفة مبثوقة بطريقة خاصة، بحيث تحتفظ بالهواء العازل. «فالشعر المكوِّن لفرو الدب القطبي مجوف،» كما يلاحظ <هانت>. والشركتان CW-X و«أندر أرمور» وغيرهما من صناع ما يسمى الملابس **الضاغطة** compression التي تساعد على تثبيت العضلات في أمكنتها، بدؤوا يخلطون ألياف التشريب بطيقان ضاغطة (من الليكرا[3] Lycra غالبا)، حتى لا تتسبب الملابس المُلتزّة تماما في تسخين أجسام الرياضيين.

ويتنافس الباحثون في إيجاد أقمشة «ذكية»[2] تتفاعل مع الظروف المتغيرة، مثل القمصان التي يتغير لونها في ضوء الشمس، والسترات المُهوّاة التي تصبح فجأة كتيمة للماء عندما تصيبها قطرات المطر. فبنيتها الأساسية ألياف موصلة conductive من البوليمرات[4] المشوبة بمواد إضافية، مثل حمض الكافور السلفوني $C_{10}H_{16}O$، القادر على نقل الشحنات الكهربائية. فالمطر يغيِّر الموصلية الكهربائية النسيج، ومن ثم تتقلص الشوائب فيه (أي تنكمش)، ما يؤدي إلى إغلاق مسامات النسيج.

«لقد أنتجنا خيوط غَزْل موصلة، وحكْناها نسيجا،» كما يقول <F. كو> [أستاذ هندسة المواد في جامعة دركس]. ولكن المنتجات مازال أمامها عدة سنوات على الأقل لكي تظهر في الأسواق.

ويضيف <كو> «إن التحدي الذي نواجهه حاليا هو صناعة نسيج يتمتع بالثبات، بحيث يصمد أمام تأثيرات التعرّق، وبالمتانة الكافية عند وضعه في أجهزة الغسيل.» ■

<M. فيشتي>



النسيج المحبوك من ألياف البوليستر يتشرب قطرات العرق ويجف بسرعة.

(*) COOL SHIRT

(1) البثق هنا، عملية لإنتاج ألياف صنعية متواصلة وذلك بدفع مادتها الخام اللينة لتمر عبر أداة مثقَّبة.

(2) smart fabrics: باعتبار أنها تغير من مواصفاتها تلقائيا تبعا للظروف المحيطة.

(3) علامة تجارية (ماركة) لألياف البولي يوريثان المرنة الخفيفة (من الشركة دوپون).

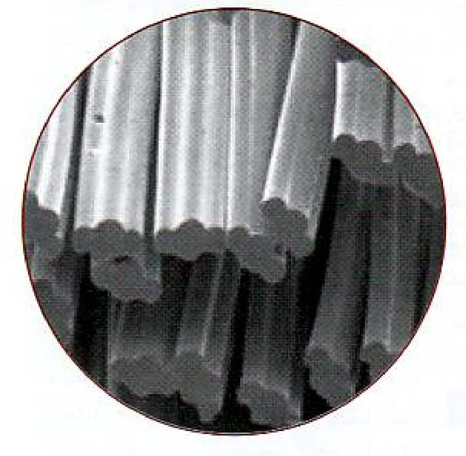
(4) ويقال أيضا: المتماثرات. (التحرير)

■ مضادة للالتصاق: الألياف الصُّنعية مريحة، وبعض ذلك مرده إلى أنها لا تحتفظ بالرطوبة. ولكن من الصعب على مثل هذا النسيج أن يبدد الشحنة الكهربائية الساكنة (الكهراكدة)، لذلك فهو يميل إلى الالتصاق والتماسك. ولهذا يضيف إليه بعض الصناع مواد مضادة للكهربائية الساكنة.

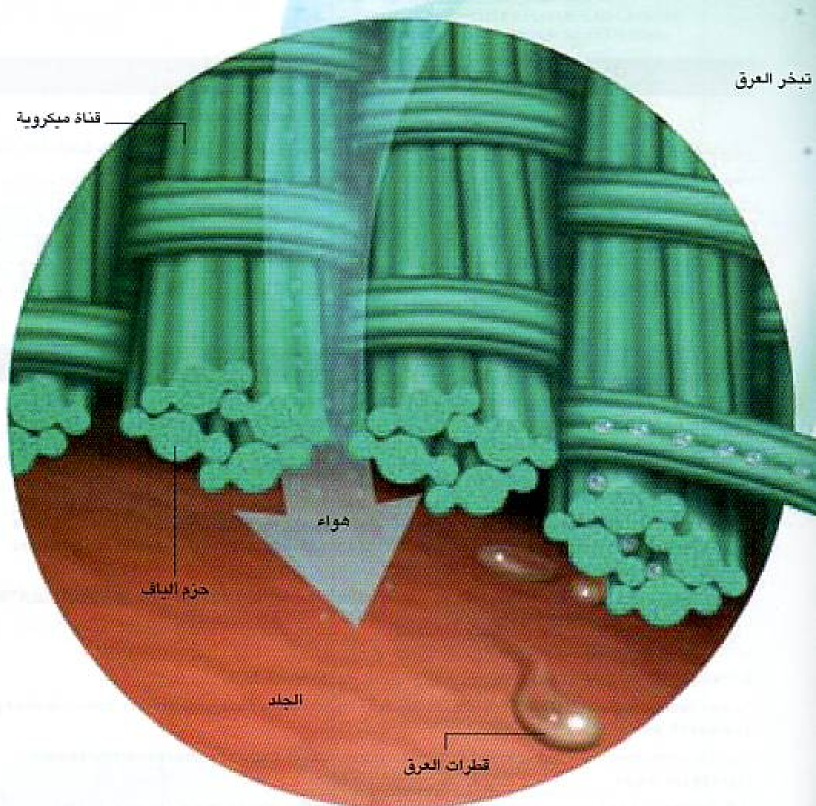
■ مضادة للبقع: عندما أعلنت الشركة «دُكَرز» عن خط إنتاج لبناطيلها الجديدة «ارتدي اللون الخاكي» Go Khakis، قالت إنها استخدمت «التقانة النانوية» nanotechnology للحصول على مقاومة عالية لها ضد البقع والّلطخ. ولكن خبراء الصناعة لاحظوا أن البناطيل كانت ببساطة مكسوّة بالتفلون teflon، الذي يخفض التوتر السطحي surface tension، بحيث تصبح السوائل أقل التصاقا بصورة عامة. ويمكن تسمية الجزيئات بأنها «تقانة نانوية»، إلا أن الإكساء بالتفلون ليس أمرا جديدا.

■ مضادة للإشعاعات الشمسية: نعم، قد تصاب بحروق من الإشعاعات الشمسية إذا ارتديت قميصا بنيته فضفاضة. ويستطيع المصنعون إنتاج نسيج أكثر تراصا لسد التفاريج بين الخيوط، ولكن ذلك يقلل من جريان تيار الهواء، ما يجعل القميص يبدو رطبا نديا عند ارتدائه. كما يستطيع المصنعون بدلا من ذلك أن يضيفوا إلى الألياف مادة تقلل من لمعانها، مثل ثنائي أكسيد التيتانيوم، وتكون قادرة على بعثرة الأشعة فوق البنفسجية.

■ حرباء CHAMELEON: إذا استطاع الكيميائيون تركيب بوليميرات موصلة مشوبة ببعض الإضافات القادرة على نقل الشحنة الكهربائية (*انظر النص الرئيسي*)، فإنهم يستطيعون أيضا صنع قميص يتحول لونه من الأخضر إلى الأزرق عندما ينتقل لابسه من الظل إلى ضوء الشمس. فطاقة الشمس تغير قيمة التيار الكهربائي، الذي بدوره يبدّل توجيه جزيئات الشوائب، ومن ثم تتغير ألوان الضوء التي تمتصها. ويجرب الجيش الأمريكي حاليا أنواعا من هذه الملابس لمزيد من التمويه المتقلب. وفيما يسمى الملبوسات المِزاجية mood clothing، تغير الأصبغة ألوانها استجابة لتغير درجة الحرارة.



البوليستر في نسيج «كوول ماكس» مبثوق على شكل لياف بيضوية المقطع، تؤمن قنوات ميكروية تساعد على سحب قُطيرات العرق بعيدا عن الجلد بفعل الظاهرة الشعرية.



في أحد التصاميم، تحتوي حُزم خيوط الغزل الملامسة للجلد على فتائل أقل، ولكنها أعرض (وبذلك تكون مساحة سطحها أصغر) من الحزم الداخلية ذات الفتائل الأكثر والأصغر (أي ذات مساحة أكبر). إن تدرج مساحة السطح يسوق قطرات العرق من الداخل نحو الخارج، مثلما تفعل إسفنجة وحيدة الاتجاه، وينشر الرطوبة على الوجه الخارجي معززا تبخرها. وتسمح الفجوات الموجودة في الحبكة بدخول هواء التبريد.

تتمة الصفحة 51 (إيقاف السبامات)

لمستخدميهم ومعدل الشكوى على كل بريد، ومن ثم التأكد من أنه لا يوجد من بين مستخدمي هذه الشركات (التي تقدم خدمة الإنترنت) سبامِيون.

إذا ما تبنى معظم المرسلِين الشرعيين نظاما كهذا (ولا يوجد سبب لغير ذلك)، يمكن جعل مصفيات الرسائل السبامية أكثر عدوانية في التعامل مع بقية البريد، ومن ثم إيقاف الجزء الأعظم من الرسائل غير المجدية (الجنكية). ويمكن دمج نظم السُّمعة في نُظم التجاوب المتحدّي، بحيث يحصل أولئك الذين لا يستطيعون الانضمام، على طريقة بديلة لإرسال بريدهم.

لقد أصبح القانون CAN-SPAM فاعلا في الولايات المتحدة في الشهر 2004/1. والقانون نفسه لا يُجرِّم عمليات إرسال الرسائل السبامية، ولكنه يمنع فقط استخدام التقنيات غير الأخلاقية بالذات، مثل استخدام معلومات مزيفة مقابل «من» "From" في عنوان المرسل. ولسوء الحظ، فإن القانون CAN-SPAM لم يكن له سوى أثر ضئيل جدا حتى الآن. فقد زادت فعلا نسبة استخدام الرسائل السبامية التي تستخدم "From:" بصورة مخادعة من 41 في المئة إلى 67 في المئة منذ تفعيل القانون. وفي المقابل، فقد فرضت الأمم الأوروبية قانونا أكثر صرامة، يمنع إرسال رسائل إلكترونية تجارية من دون إذن صريح من المستقبِل. وبناء على شواهد نادرة، فقد كانت هذه القوانين فعالة بشكل ما، على الأقل في إيقاف الرسائل السبامية من قبل الشركات الشرعية.

ومن الواضح أنه لا يمكن لقانون في دولة واحدة أن يأمل إيقاف الرسائل السبامية. إن نصف عدد الرسائل الإلكترونية غير المجدية (الجنكية) يأتي من الولايات المتحدة. فقط منتج واحد من ثلاثة يتم بيعها من خلال الرسائل غير المجدية (الجنكية) (مثل التأمين أو تمويل الرهونات) يتطلب وجودا في الولايات المتحدة. أما الأخرى، بما في ذلك المواضيع الخلاعية و«المنشطات العشبية» والتحايلات الائتمانية، جميعها في خارج الولايات المتحدة أو يمكنها الانتقال للخارج أو أنها غير مشروعة أصلا.

مستقبَل ليس فيه سبامات(*)

إن الصناعة وجماعة البرمجيات المفتوحة والجماعة الأكاديمية تستمر معا في دراسة كيفية إيقاف السبامات. وقد قمنا حديثا بالمساعدة على تنظيم أول مؤتمر رسمي عن هذا الموضوع ـ **مؤتمر البريد الإلكتروني ومناهضة الرسائل السبامية** Conference on Email and AntiSpam ـ والذي نجح في جذب باحثين من جميع أنحاء العالم. وقد قام مهندسون من الشركة IBM بعرض كيفية استخدام تقنيات من علم المعلومات البيولوجية، صممت أصلا للكشف عن أنماط في الجينات، لتمييز أنماط في الرسائل السبامية. وأظهر باحثون من الشركة AOL أن نُظم البصمة المتعددة بمفردات لغوية مختلفة يمكن أن تقوم بشكل أفضل بالحماية ضد إبهامات السبامِيين. وقد قام فريق من جامعة كاليفورنيا في ديفيس بوصف كيف أن إضافة قليل من الكلمات الشائعة يمكن أن تولد هجوما فاعلا ضد مصفيات الرسائل السبامية، التي تعتمد في عملها على **تعلُّم** الحاسوب؛ وكيف يمكن، بالتدريب، جعل هذه المصفيات أكثر مقاومة لهذا الهجوم.

يخالجنا بعض الشك في أن مجموعة مشتركة من الطرق الحالية والمستقبلية ستقوم أخيرا بإيقاف معظم الرسائل السبامية. سيكون هناك دائما بعض السبامِيين الذين هم على استعداد لدفع ثمن اختراق صناديق بريدنا، ولكنهم يتناقصون باستمرار. ■

(*) Spam-Free Future

المؤلفون

Joshua Goodman - David Heckerman - Robert Rounthwaite

*عملوا معا، لعدة سنوات، على طرق لإيقاف الرسائل السبامية. وفي عام 1997، ابتكر **هيكرمان** و **راونثويت** مع آخرين أول برنامج لتصفية الرسائل السبامية بوساطة تعلم الحاسوب. يدير **هيكرمان** حاليا مجموعة الإحصاء التطبيقي وتعلم الحاسوب (MLAS) في مركز أبحاث الشركة مايكروسوفت. ساعد كل من **كودمان** و **راونثويت** على تنظيم فريق إنتاج الشركة مايكروسوفت الذي يقوم بتزويد تقنيات التصدي للرسائل السبامية المستخدمة في البرمجيات Exchange, Outlook, MSN و Hotmail. و **راونثويت** هو حاليا المخطط الرئيسي للمشروع. وأما **كودمان** فهو عضو في المجموعة MLAS ويجري أبحاثا على الرسائل السبامية وموضوعات تتعلق بالبريد الإلكتروني.*

مراجع للاستزادة

A Bayesian Approach to Filtering Junk E-Mail. M. Sahami, S. Dumais, D. Heckerman and E. Horvitz. AAAI Technical Report WS-98-05, Madison, Wis., 1998. **http://citeseer.ist.psu.edu/sahami98bayesian.html**

Pattern Classification. Second edition. Richard O. Duda, Peter E. Hart and David G. Stork. John Wiley & Sons, 2000.

Learning to Filter Unsolicited Commercial E-Mail. Ion Androutsopoulos, Georgios Paliouras and Eirinaios Michelakis. Technical Report 2004/2, NCSR Demokritos. **http://iit.demokritos.gr/~paliourg/papers/TR2004_updated.pdf**

Spam Kings: The Real Story behind the High-Rolling Hucksters Pushing Porn, Pills, and %*@)# Enlargements. Brian McWilliams. O'Reilly, 2004.

Conference on Email and Anti-Spam: **www.ceas.cc**

A Plan for Spam. Paul Graham. **www.paulgraham.com/spam.html**

Spam: Technologies and Policies. Joshua Goodman. **www.research.microsoft.com/~Joshuago/spamtech.pdf**

Tips for consumers on how to avoid spam: **www.microsoft.com/athome/security/spam/fightspam.mspx**

U.S. Federal Trade Commission's Web site on spam-related issues: **www.ftc.gov/spam/**

المجلد 22 ـ العدد 5

مايو/ أيار 2006

مجلة العلوم

الترجمة العربية لمجلة ساينتفك أمريكان

تصدر شهريا في دولة الكويت عن

مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

عدد خاص

SCIENTIFIC AMERICAN

May 2006

يدخل الجنس البشري حاليا فترة فريدة من تاريخه.
فهل سيختار ما يضمن لنفسه أفضل مستقبل ممكن؟

مفترق طرق أمام الكرة الأرضية

العدد 217 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي

المقالات

ترجمة أو مراجعة

«*مجلة العلوم*» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**»، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«*مجلة العلوم*» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«**ساينتفيك أمريكان**» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ، غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ، المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «ساينتفيك أمريكان» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول.

أوج البشرية(*)

يعتبر عصرنا الحالي، من الناحيتين الديموغرافية والاقتصادية، فريدًا في تاريخ البشرية. وتبعا لكيفية تدبّرنا للعقود القليلة المقبلة، يمكن أن نمهد الطريق لتوازنٍ بيئي أو لانهياره.

<G. موسّر>

يشعرنا القرن الحادي والعشرون بالإحباط. فقد وُعِدنا بسيارات طائرة وبمستعمرات فضائية وبخمس عشرة ساعة عمل في الأسبوع. وكان من المفترض أن تقوم **الإنسالات**(1) robots بأعمالنا المنزلية، إلا عندما كانت مشغولة بتنظيم تمردٍ ما؛ وأن يتعلم الأطفال عن الأمراض من كتب التاريخ؛ وأن تباع مفاعلات الاندماج النووي في المتاجر Home Depot. وحتى أسوأ التخيلات المستقبلية توقعت قفزات في النظام التقاني والاجتماعي بحيث تترك عصرنا هباء في هباء.

ومع هذا، إذا تجاوزنا تلك الأضواء الوامضة والتجهيزات الرنانة، فإن القرن الجديد يتجسد كواحد من أكثر العصور إذهالا في تاريخ البشرية. وقد بلغت ذروتها حاليا ثلاثة تحولات كبيرة بدأت حركتها مع الثورة الصناعية. فبعد عدة قرون من النمو أسرع من النمو الأسي(2)، بدأ عدد سكان العالم بالاستقرار. وانطلاقا من المناحي الحالية، سيبلغ عدد السكان مرحلة استقراره النهائي في حدود تسعة بلايين نسمة مع منتصف هذا القرن. وفي غضون ذلك، سيتراجع الفقر المدقع سواء كنسبة من عدد السكان وكقيم مطلقة. وإذا ما تابعت كل من الصين والهند خطواتهما الاقتصادية كتلك التي اتبعتها اليابان وكوريا الجنوبية، فإنه مع حلول عام 2050 سيصبح الفرد الصيني العادي بنفس ثراء السويسري العادي في هذه الأيام؛ والفرد الهندي بنفس ثراء الفرد في فلسطين حاليا. ومع نمو البشرية عددا وثراء، سيزداد الضغط بشكل مطّرد على تخوم كوكبنا. فنحن نضخّ الآن ثلاثة أضعاف كمية ثنائي أكسيد الكربون أسرع مما يمكن للمحيطات واليابسة امتصاصه. ويرى خبراء علم المناخ أنه مع حلول منتصف القرن الحالي سيبدأ **الاحترار الأرضي** global warming بنهش فعلي لكوكبنا. وإذا ما سارت الأمور بمعدلاتها الحالية، فإن الغابات ومواطن الأسماك في أرجاء العالم ستتآكل أسرع من ذلك.

وهذه التحولات الثلاثة المتزامنة والمتضافرة ـ الديموغرافية والاقتصادية والبيئية ـ هي التي سيتذكرها المؤرخون في المستقبل عندما يستعيدون ذكريات عصرنا الحالي. فهي تُحوّل كل شيء بدءا من النواحي الجيوسياسية وانتهاء بالبُنى الأسرية وتفرض مشكلات من سويات لا تتوافر لدى الجماعات البشرية خبرات كافية بشأنها. وكما يصف <O.E. ويلسون> [عالم الأحياء من جامعة هارڤرد] الأمر بأننا على وشك ولوج «عنق الزجاجة(3)»، وهي فترة من الإجهاد الأعظمي على الموارد الطبيعية والابداع البشري.

هذه المناحي تبدو واضحة للعيان في جميع أوجه الحياة اليومية. فكثير منا مر بتجربة التيهان في بلداتنا نظرا لتوسعها بشكل كبير. إلاّ أن هذا التوسع آخذ في التباطؤ مع تقلص عدد أفراد الأسر. وشيئا فشيئا يكبر الأطفال، ليس فقط بلا أخوة ولكن أيضا بلا عمّات أو أعمام أو أبناء عمومة (قد يجد البعض ذلك أمرا مؤلما إلاّ أن السبيل الآخر للوصول إلى استقرار في عدد السكان هو زيادة معدلات الوفيات). تمتلىء رفوف المتاجر Wal-Mart بالسلع الصينية، ويقوم الهنود بالرد على استفسارات الزبائن، لكن في المقابل، هناك مزيد من الآسيويين ممن يتبضّعون المنتجات الغربية. وبسبب الاحترار الأرضي، تزهر الورود الربيعية قبل أسبوع من موعدها مقارنة بإزهارها قبل 50 عاما؛ وتقدم المطاعم أنواعا مغايرة من الأسماك عما درجت عليه سابقا، ذلك أن الأنواع التي كانت مألوفة قد استُهلكت عن طريق الصيد الجائر.

إن نظرة إلى الحقبة الحالية من خلال سياقها التاريخي تساعد على وضع مشكلات العالم في منظورها الصحيح. فكثير من هذه المشكلات ينجم، بشكل مباشر أو غير مباشر، عن التضخم والنمو. ومع تناقص هذا التضخم تدريجيا، ستتاح الفرصة للبشرية أن تطوي صفحة هذه المشكلات. وصحيح أن الولوج من خلال عنق الزجاجة قد يكون عسيرا، لكن ما إن تتجاوزه يصير الأسوأ شيئا من الماضي.

تُحدّد التحولات التي نمر بها مدى التحديات التي نواجهها. بمقدور العلماء، ولو بشكل تقريبي، تقدير عدد السكان الذين سيعيشون على كوكب الأرض؛ ما هي احتياجاتهم ورغباتهم المستقبلية؛ ما هي الموارد المتاحة ومتى سيحدث ذلك. ففي النصف الثاني من هذا القرن يمكن للبشرية أن تدخل في حالة من التوازن المستقر يكون فيها النمو الاقتصادي، الذي ينجم في الوقت الحاضر عن مجموعة مؤتلفة من زيادة في الإنتاجية وزيادة في عدد السكان وزيادة في الموارد، نابعا بشكل كامل من الإنتاجية ـ وهذا ما يزيل معظم حدّة

(*) THE CLIMAX OF HUMANITY
(1) ج: **إنسالة** robot وهذه نحت من إنسان-آلي.
(2) exponential growth
(3) the bottleneck

تحدد ثلاثة مناحٍ تاريخية كبرى وضعنا الحالي. ويوفر فهم هذه المناحي إطارا للتعامل مع مشكلات العالم بدلا من الوقوع في شلل تحت وطأتها. ◄







صاروا أغنى

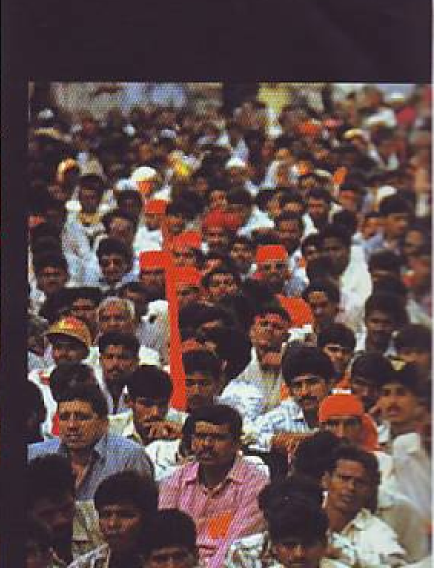


ازداد عدد سكان الأرض

وغيّروا الكرة الأرضية







الصراع بين الاقتصاد والبيئة. وستُخلي التحديات القديمة الطريق أمام التحديات الجديدة. وتبدو هذه السيرورة جليّة الآن في بلدان تقف في طليعة هذه التحولات. فالجدل الدائر في الولايات المتحدة حول الضمان الاجتماعي والقلق المستبد في أوروبا واليابان حول التقاعد (الإحالة إلى المعاش) ما هو إلا صدى لتخطيط اجتماعي للحياة في فترة ما بعد النمو.

إن الديموغرافيين، في نظر الجمهور، هم من ذوي السمعة المتقلّبة. ألم تكن، قبل ثلاثين عاما، مسألة الانفجار السكاني مصدرا للقلق؟ لقد كان كتاب «P. أرليش» «*القنبلة السكانية*»، الأكثر رواجا. وصوّر فيلم *Soylent Green*، من بطولة «Ch. هستون»، مستقبلا ينحشر فيه الناس كأكداس الحطب ويأكلون قطعا صغيرة تشبه «عصيدة الفاصولياء». ومع هذا، أصبحت مؤخرا مسألة تناقص عدد السكان مثارا للاهتمام والقلق كما أنبأنا بذلك المحافظون الجدد، مثل «N. أبرشتات». ويتلخص قلقهم من خلال فيلم آخر *The Omega Man*، للممثل «هستون»، وفيه تتناقص البشرية إلى أن تنقرض تماما. أيّ من الحالتين ستسود: زيادة في عدد الناس أو نقص كبير فيه؟

لم يتغير التوجه السائد لدى الديموغرافيين بالقدر نفسه الذي توحي به هذه التنبؤات المتطرّفة. ففي الدول المتطورة، تقلّص عدد أفراد الأسرة أسرع مما كان متوقعا، لكن التنبؤات المبيّنة في العدد الخاص من مجلة *ساينتفيك أمريكان* لعام 1974 حول عدد السكان قد صمدت بشكل كبير أمام اختبار الزمن. وفي الواقع، فإن كلا من سيناريوهي هذين الفلمين يحمل عنصرا من الحقيقة. فبالمعايير المطلقة، لاتزال أعداد البشرية تتزايد بشكل هائل. والنجاح السابق في تفادي «كوابيس

ثلاثة تحولات تغير العالم(*)

النمو السكاني يتباطأ...

عدد سكان العالم (بليون)

14
12
10
8
6
4
2
0

استشراف مرتفع
استشراف متوسط
استشراف منخفض

1820 1860 1900 1940 1980 2020 2060 2100

العام

مخطط فاعل للقرن الحادي والعشرين(**)

1. فهم التغيرات (*الصفحة* 8). ومع أن ذلك يبدو جليا، فغالبا ما تهمل الخطوة الأولى. فمن الصعوبة بمكان النظر إلى ما وراء العناوين الرئيسية اليومية لفهم المناحي الجوهرية التي نخوض تجاربها. ويرسم الديموغرافي «J. E. كوهين» صورة عامة لجماعات سكانية واسعة، بطيئة النمو، ميالة إلى حياة المدن وأكثر تقدما في العمر. إن الاستشراف الدقيق بهذا الشأن يشوبه الالتباس، لكن المهم هو الموضوعات العامة التي يطرحها.

2. إنجاز أهداف التطور الألفية (الصفحة 16). راجعت الجمعية العامة للأمم المتحدة، في الشهر 2005/9، ما أُحرز من تقدم متفاوت للأهداف النوعية في مجالات خفض الفقر واللامساواة. ويعرض الاقتصادي «J. D. ساكس» [رئيس المشروع الألفي في الأمم المتحدة] الجهود المتضافرة للمساعدات. فإضافة إلى تعزيز رفاهية الإنسان، تسعى هذه الجهود إلى تخفيف وطأة المشكلات البيئية المرتبطة بالفقر، مثل تلوث الهواء واجتثاث الغابات.

3. الحفاظ على المواطن الطبيعية (habitats) المؤثرة (الصفحة 26). بما أن انقراض الأجناس عملية لاعكوسة، فيجب أن يكون تفاديها على رأس سلّم الأولويات. فالمخلوقات الهامشية ليست الضحايا الوحيدة؛ والأجناس النافعة اقتصاديا، مثل أسماك الحفش sturgeon وضروب الحبوب البرية، هي أيضا في مأزق. ويبين الإيكولوجي «S. L. بيم» و«C. جنكينز» أن تطويق المحميات الطبيعية مكلف ماليا؛ إلا أن هذه المحميات توفر منافع عدة. وحتى في المفاهيم الاقتصادية الضيقة، تكون البلدان أفضل حالا إذا حافظت على الغابات الغائلة في القدم بدلا من تحويلها إلى مزارع أو مرابٍ للمواشي.

4. الانفطام عن الوقود الأحفوري (الصفحة 34). يختزن الجو المحيط كمية محدودة من ثنائي أكسيد الكربون قبل أن يبدأ الطقس بالاختلال. ويتطلب تقليل الانبعاثات الغازية تغيرا جذريا في طريقة إنتاجنا واستخدامنا للطاقة. لكن «A. B. لوفينز» [أحد أبرز المفكرين المبدعين في هذا الموضوع في الولايات المتحدة الأمريكية] يرى أن هذه المهمة لا ترقى إلى درجة التثبيط أو التكلفة كما يعتقد البعض. وتكمن براعة الحل في تسريع توجهاتنا الحالية للوصول إلى مردود طاقي أعلى.

5. توفير ريٍّ رخيص للمزارعين الفقراء (الصفحة 44). كيف يمكننا إطعام تلك الأفواه المتزايدة من غير استبدال التربة الزراعية واستنفاد المكامن المائية وإنشاء السدود حتى على آخر نهر لدينا؟ يرى خبير التطوير «P. پولاك» أنه يمكن لتقانة مناسبة متدنية المرتبة، مثل المضخات اليدوية وطريقة الريّ بالتنقيط، أن تزيد المحاصيل الزراعية وتوسّع إمدادات المياه المحدودة وتقود المزارعين إلى سبيل الرفاه.

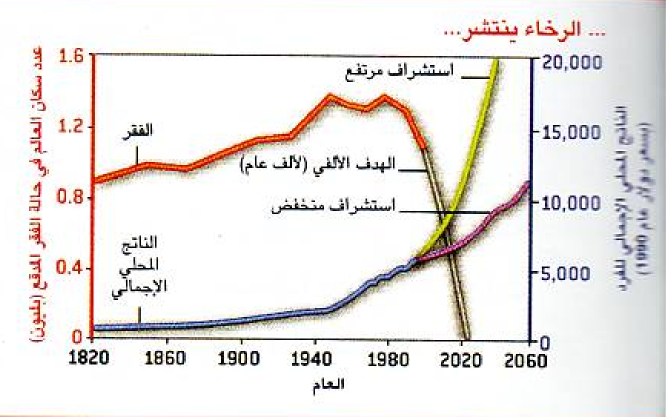
6. تقوية المنظومات الصحية (الصفحة 52). في البلدان الغنية والنامية بسرعة، مثل الصين والهند، يتزايد أعداد المرضى نتيجة لحالات مرضية مزمنة، مثل أمراض القلب والعلل العقلية، أكثر من حالات العدوى. أما في البلدان الفقيرة فتظل الملاريا والسل وغيرها من العلل تشكل العبء الأكبر. ويرى خبير الأوبئة «B. R. بلوم» أن قمة الأولويات، في الحالتين، هي في الوقاية الأفضل؛ والتي يجب أن تراوح ما بين التحصين باللقاحات واستخدام الكلّات (الناموسيات) وبين الحملات ضد التدخين.

7. الاستعداد لنمو أبطأ (الصفحة 60). على المؤسسات السياسية والتمويلية أن تعيد تنظيم نفسها مع اقتراب الاقتصاد من قيود ومحددات عالمية. ويدعو الاقتصادي «H. E. دالي» إلى طرق جديدة لتحصيل الضرائب وتحديد نسب الفوائد المصرفية والتحكم في التلوث البيئي واستخلاص الموارد. وفي تعليق مرافق لهذا الموضوع، يوافق الاقتصادي «P. داسكوبتا» على الكثير مما قاله «دالي»، لكنه يرى أن اقتصاديات الدول الغنية الآن أكثر استدامة مما يعتقده الكثيرون.

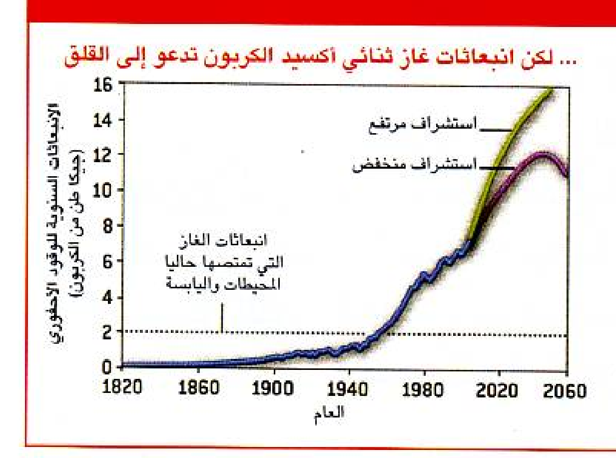
8. وضع أولويات أكثر عقلانية (الصفحة 68). يجري الآن ترتيب الأولويات بشكل كبير من صاحب الصوت الأعلى أو ذلك الذي يمارس رياضة الكولف مع الأشخاص المناسبين. وكما يصف الأمر «W. ويت كيبس» [الكاتب في هذه المجلة] يعمل علماء الاقتصاد والبيئة على إيجاد مقاربات أفضل. ففي ظل تقدير صحيح للتكاليف والاستحقاقات المالية، يمكن للأسواق أن تعمل كحواسيب ضخمة موزعة بحيث ترجح عمليات المبادلة. إلا أن المقاربات هذه يمكن أن تفشل، مثلا، عندما تتركز التكاليف وتنتشر المزايا.

Action Plan For The 21st Century (**)   Three World-Changing Transitions (*)

... الرخاء ينتشر...



... لكن انبعاثات غاز ثنائي أكسيد الكربون تدعو إلى القلق



مالثُس» Malthusian nightmares[1] لا يشكل ضمانا لأداء مستقبلي. ومع ذلك، فإن تراجع معدلات النمو السكاني يثير المخاوف. فتاريخيا، انتكس معظم المجتمعات المستقرة أو المتراجعة سكانيا.

وأنصار أحد هذين السيناريوهين لا يبالون باعتراضات الطرف الآخر، معبرين عن «الثقة» بإمكانية التعامل معها من دون بذل جهد يذكر للتعامل معها بالفعل. فما إن تزيل غشاوة الأيديولوجية، حتى تبدأ بالظهور ملامح مخطط فاعل وشامل (*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*). وهذا بالكاد هو السبيل الوحيد للمضي قدما، لكنه يمكن أن يكون نقطة انطلاق للحوار.

ومن الموضوعات المكررة لهذا المخطط هو أن الأعمال التجارية ليست بالضرورة عدوة للطبيعة، أو بالعكس. وتقليديا لم يتم حتى تعريف الاقتصاد والبيئة بمصطلحات مماثلة. فالإحصائيات الاقتصادية الأكثر تداولا، مثل الناتج المحلي الإجمالي (GDP)[2]، لا تقيس مدى استنزاف الموارد؛ بل بشكل أساسي، هي مقاييس **للتدفق النقدي** cash flow أكثر منها لكشوفات ميزانيات الأصول والالتزامات. فإزالة غابة بكاملها ترفع الناتج المحلي الإجمالي لكنها تدمّر أصولا كان بإمكانها أن تؤمن دخلا مستمرا.

وبشكل أعمّ، إن الأثمان التي ندفعها للسلع والخدمات نادرا ما تتضمن التكاليف البيئية المصاحبة لها؛ وعلى شخص ما أن يدفع هذه التكلفة ـ ذلك الشخص هو في العادة نحن، لكن في زي آخر. وفي أحد التقديرات، فإن دافع الضرائب الأمريكي العادي يدفع 2000 دولار سنويا لدعم الزراعة وقيادة الآليات والتعدين في المناجم والفعاليات الأخرى ذات التأثيرات البيئية القوية. ولا تقدم السوق المشوّهة للمستهلكين وللمنتجين الكثير من الحوافز لعمليات تنظيف هذه التأثيرات. ويدعم البيئيون هذا التوجه عن غير قصد عندما يركّزون أنظارهم على مفاتن الطبيعة التي لا تقدر بثمن، والتي وإن كانت ذات شأن فإنه يصعب مقارنتها بهموم أكثر إلحاحا. إن «قانون الأجناس المهدّدة بالانقراض» Endangered Species Act قدم أمثلة صارخة لأولئك المؤيدين الذين يتحاورون بترددات مختلفة بعضهم مع بعض. فجماعات «الخضر» أنحت باللائمة على الحطّابين للانقراض التدريجي لطيور البوم المرقط[3]؛ والحطابون أرجعوا مشكلة البطالة إلى إشباع نزوات علم الطيور. وفي الحقيقة، فإن كلتا الجماعتين كانت ضحية للحراجة غير المستدامة.

وفي السنوات الأخيرة، أجمع علماء الاقتصاد والبيئة على إبراز أهمية الطبيعة. وبعيدا عن الحطّ من قدرها، يكشف هذا الإجماع مدى اعتمادنا عليها. ويبيّن «**التقويم الألفي لمنظومة التبيؤ**» The Millennium Ecosystem Assessment، الذي نُشر في وقت مبكر من عام 2005، تلك الخدمات التي يجب على البشر تأمينها بأنفسهم بتكلفة مرتفعة ـ بدءا من تلقيح غبار الطلع وانتهاء بتنقية المياه ـ هذا إذا لم تقم الطبيعة بذلك. فمن بين 24 صنفا عاما من هذه الخدمات، وجد فريق أجرى هذا التقويم، أن 15 صنفا تُستهلك أسرع مما تتجدد.

وعندما تُؤخذ البيئة كمعامل مهم كما ينبغي، يصبح غالبا ما هو جيد للطبيعة جيدا للاقتصاد، وحتى لقطاعات العمل الإفرادية. فصيادو الأسماك، على سبيل المثال، يضاعفون أرباحهم عندما يستغلون مواطن الأسماك بسوية مستدامة؛ أما الذهاب أبعد من ذلك، فإن كلا من المحاصيل السمكية والأرباح ستتراجع عندما يلهث عدد أكبر من الصيادين وراء عدد أقل من الأسماك. ولاشكّ أن الحياة ليست ملائمة على الدوام؛ فعلى المجتمع أحيانا أن يقوم بمقايضات حقيقية؛ ولكنها فقط بداية لسبر خيارات تعود بالنفع على جميع الأطراف.

وإذا ما وضع صانعو القرار الأطر الناظمة بشكل صحيح، فعندها سيتم تأمين مستقبل البشرية عن طريق آلاف القرارات الوضعية: كم عدد الأطفال الذين يجب على الناس إنجابهم، أين ترعى قطعان ماشيتهم وكيف يقومون بالعزل الحراري لبيوتهم. ففي الشؤون الدنيوية[4] يتم عادة إحراز أعمق التقدمات. فما يجعل مجتمعا ما غنيا، ليس الحواسيب والأقراص الرقمية المتعددة الاستعمال DVD والتي تجدها هذه الأيام حتى في قرى متواضعة، وإنما أنابيب الصرف الصحي والأسرّة الطرية والإحساس بالأمان المادي والاقتصادي. وبالمساعدة على تحقيق هذه المزايا العصرية للجميع، سيكون العلم والتقانة قد أنجزا شيئا أكثر إثارة من بناء مستعمرات فضائية. ■

(1) نسبة إلى نظرية مالتُس التي تقول بأن ازدياد عدد السكان يتجاوز ازدياد الموارد الغذائية وأنه يجب لذلك تحديد عدد السكان.

(2) gross domestic product (3) spotted owls (4) mundane

المؤلف

George Mussar

عضو *هيئة الكتّاب والمحررين* في مجلة ساينتفيك أمريكان.

سكان العالم يزدادون عددا[*]

سوف تخضع البشرية لتغيرات تاريخية من حيث التوازن بين الشباب وكبار السن، الأغنياء والفقراء، المديني والريفي، وذلك بسبب التزايد المتوقع لأعدادنا إلى نحو 9 بلايين نسمة في النصف الثاني من القرن الحالي. وسوف تحدد الاختيارات الحالية وفي السنوات القادمة إمكانية تأقلمنا بشكل جيد مع ما نبلغه من العمر.

<J. E. كوهين>

يُعتبر عام 2005 النقطة الوسيطة لعقد يتأثر بثلاثة انتقالات فريدة ومهمة في تاريخ البشرية. فقبل عام 2000، كان عدد صغار السن يفوق عدد كبار السن. واعتبارا من عام 2000 بدأ يزيد عدد كبار السن على عدد صغار السن. وحتى عام 2007 تقريبا، سوف يظل سكان الريف يفوقون عددا سكان المدن. لكن ابتداء من عام 2007 تقريبا، سوف يزيد عدد سكان المدن على عدد سكان الريف. وابتداء من عام 2003، كان لدى المرأة في المتوسط، وسوف يظل لديها خلال حياتها، عدد من الأطفال قليل جدا أو بالكاد يكون كافيا ليحل محلها ومحل زوجها في الجيل التالي.

ويتميز العقد، الذي يقع عام 2000 في منتصفه، بثلاثة انتقالات إضافية فريدة ومهمة في تاريخ البشرية. أولا، إن كل شخص تُوُفّي قبل عام 1930، لم يكن على قيد الحياة عندما تضاعف عدد المجتمع البشري، وكذلك بالنسبة إلى أي شخص قد يُولد في عام 2050 أو بعد ذلك، فلن يكون على قيد الحياة عندما يتضاعف عدد المجتمع البشري. وعلى العكس من ذلك، فإن كل شخص عمره اليوم 45 سنة أو أكثر، كان قد شهد أكثر من تضاعف لأعداد البشر من 3 بلايين نسمة في عام 1960 إلى 6.5 بليون نسمة في عام 2005. وقد حدث أقصى معدل نمو سكاني، نحو 2.1% سنويا، بين عام 1965 وعام 1970، ولم ينم المجتمع البشري بمثل هذه السرعة قبل القرن العشرين، وليس من المحتمل أن ينمو مرة أخرى بمثل هذه السرعة. وسوف يتذكر أحفادنا أقصى معدل نمو حدث في أواخر الستينات بأنه أعظم حدث ديموغرافي في تاريخ البشرية، مع أن من عاش منا خلال تلك الفترة لم يدركه حينها.

ثانيا، منذ بداية عام 1970 كان معدل النمو السكاني العالمي يتراجع بشكل ملحوظ إلى 1.1% أو 1.2% سنويا، ويرجع هذا بشكل أساسي إلى اختيار البلايين من الأزواج حول العالم تحديدَ النسل. ومن المحتمل أن معدلات النمو السكاني في العالم قد مرت بارتفاعات وانخفاضات مرات عديدة في الماضي. فعلى سبيل المثال، أدت الأوبئة والحروب في القرن الرابع عشر إلى انخفاض ليس فقط في معدل النمو ولكن أيضا في حجم المجتمع العالمي بأكمله. وهذه التغيرات ليست اختيارية. فلم يكن تراجع معدل النمو السكاني العالمي قبل القرن العشرين اختياريا.

أخيرا، لقد شهد النصف قرن الأخير وسوف يشهد النصف قرن القادم تحولا هائلا في التوازن الديموغرافي بين مناطق العالم الأكثر تقدما والمناطق الأقل تقدما. ففي عام 1950، كان عدد سكان المناطق الأقل تقدما ضعف عدد سكان المناطق الأكثر تقدما تقريبا، ولكن بحلول عام 2050 سوف تزيد النسبة على 1:6.

وبوجه عام، لا يلاحظ الجمهور هذه التغيرات الهائلة في تركيبة المجتمع البشري وديناميكيته. وأحد أعراض هذه التحولات العميقة يجذب الانتباه السياسي من حين لآخر. لكن غالبا ما تفشل الإصلاحات المُقترحة بشأن الضمان الاجتماعي[1] في الولايات المتحدة الأمريكية في إدراك التقدم الأساسي في عمر المجتمع البشري، في حين أن النقاش في أوروبا وأمريكا حول سياسة الهجرة غالبا ما يتخطى الفروق في معدلات النمو السكاني بين هذه المناطق وجيرانهم في الجنوب.

وفي هذه المقالة سوف أركز على التوجهات الأربعة الرئيسية المُتَوَقَّع لها أن تتحكم في تغيرات المجتمع البشري في نصف القرن القادم، كما سأركز على بعض ملابساتها على المدى البعيد. وسوف يكون المجتمع البشري أكبر وأبطأ في النمو وأكثر مَدينيَّة وأطول عمرا عما كان عليه في القرن العشرين. لكن بالطبع تظل أي توقعات دقيقة غير أكيدة بدرجة كبيرة. فعلى سبيل المثال، يكون لأي تغيرات صغيرة في معدلات الخصوبة المُفترضة تأثيرات هائلة في الإجمالي المُتوقع لأعداد الناس. وعلى الرغم من هذه التوضيحات، تشير التوقعات إلى بعض المشكلات التي يجب على البشرية مواجهتها في غضون الخمسين سنة القادمة.

نمو سريع ولكنه متباطئ[**]

مع أن معدل النمو في حجم المجتمع في انخفاض منذ السبعينات، فإن منطق المعدلات المركبة يعني أن المستويات الحالية لمعدل النمو السكاني العالمي مازالت أعلى من أي مستويات تم اجتيازها قبل الحرب العالمية الثانية. فبينما استغرق حدوث أول زيادة مُطلَقَة، مقدارها نحو بليون نسمة، الفترة ما بين نشأة البشرية

(*) HUMAN POPULATION GROWS UP
(**) Rapid but Slowing Growth
(1) Social Security

إلى بداية القرن التاسع عشر، فسوف يستغرق إضافة بليون نسمة آخر إلى عدد السكان الحالي الفترة من 13 إلى 14 عاما فقط. وبحلول عام 2050، من المُتَوَقع أن يصل تعداد البشرية إلى 9.1 بليون نسمة - زائد أو ناقص بليوني نسمة - بناءً على معدلات المواليد والوفيات المستقبلية. وهذه الزيادة المُتوقعة والتي تصل إلى 2.6 بليون نسمة بحلول عام 2050 - والتي يتم إضافتها إلى الـ6.5 بليون نسمة لعام 2005 - تزيد على إجمالي عدد سكان العالم في عام 1950 والذي كان مقدرا بنحو 2.5 بليون نسمة.

وباختصار، لم يتوقف النمو السريع لأعداد السكان حتى الآن. وتتراوح الزيادة في أعداد السكان حاليا بين 74 و 76 مليون نسمة سنويا، وهو ما يعادل إضافة التعداد السكاني لدولة بأكملها (مثل الولايات المتحدة الأمريكية) إلى التعداد السكاني للعالم مرة كل أربع سنوات؛ لكن معظم هذه الزيادات لا تحدث في دول لها نفس مستوى ثراء الولايات المتحدة الأمريكية. فبين عامي 2005 و 2050 سوف يتضاعف التعداد السكاني ثلاث مرات على الأقل في كل من: أفغانستان، بوركينا فاسو، بوروندي، التشاد، الكنغو، جمهورية الكنغو الديموقراطية، تيمور الشرقية، غينيا بيساو، ليبيريا، مالي، النيجر وأوغندا.

مفترق طرق أمام التعداد السكاني (*)

المشكلة:

- سوف يؤدي الازدياد السريع في أعداد سكان العالم إلى زيادة أعدادهم بنسبة 50% تقريبا: من 6.5 بليون نسمة حاليا إلى 9.1 بليون نسمة بحلول عام 2050. وفي الواقع سوف يحدث كل هذا النمو في المدن القائمة حاليا أو في المدن الجديدة بالدول النامية. وخلال الفترة نفسها، سوف يقل عدد السكان في العديد من الدول الأغنى. وسوف يؤدي الانخفاض في الخصوبة والزيادة في طول عمر الفرد على مستوى العالم إلى ازدياد نسبة الأشخاص الذين قد يكونون فعليا من ذوي التبعية المسنة.

الخطة:

- تكوين فطيرة كبيرة مع عدد أقل من الشوك وسلوكيات أفضل: تكثيف طاقة البشر الإنتاجية من خلال الاستثمار في التعليم والصحة والتقانة؛ زيادة المتلقين للرعاية الصحية التناسلية ولموانع الحمل، وذلك لإبطاء النمو السكاني طوعا. تحسين ظروف تفاعلات الأشخاص عن طريق إصلاح المؤسسات والسياسات والممارسات الاقتصادية والسياسية والدينية والاجتماعية، وتحقيق عدالة اجتماعية وقانونية أكبر.


بحلول عام 2050 سوف ينمو عدد سكان النيجر بنسبة 258%.

وهذه الدول تنتمي إلى أفقر دول العالم.

من المُتَوَقَّع أن يحدث معظم النمو في تعداد البشرية خلال الـ45 سنة القادمة في المناطق الأقل تقدما اقتصاديا في عصرنا الحالي. وعلى الرغم من ارتفاع معدلات الوفيات في جميع الأعمار، فإن تعداد البشرية في الدول الفقيرة ينمو بشكل أسرع من الدول الغنية، لأن معدلات المواليد في الدول الفقيرة أعلى بكثير. فحاليا، متوسط حمل المرأة في الدول الفقيرة (2.9 طفل) يعادل تقريبا ضعفه في الدول الغنية (1.6 طفل).

ونصف الزيادة العالمية المتوقعة في عدد السكان سوف يأتي من 9 دول فقط. وهذه الدول مُرَتَّبَة حسب الحجم المتوقع للمساهمة في الزيادة، هي: الهند، باكستان، نيجيريا، جمهورية الكنغو الديموقراطية، بنغلاديش، أوغندا، الولايات المتحدة الأمريكية، إثيوبيا والصين. ويلاحظ أن الولايات المتحدة الأمريكية هي الدولة الوحيدة الغنية ضمن هذه القائمة، ويعود ثلث النمو السكاني تقريبا فيها إلى المعدل المرتفع للهجرة إليها (*انظر الإطار في الصفحة 14*).

وفي المقابل، سوف يقل التعداد السكاني في 51 دولة أو منطقة، معظمها أكثر تقدما اقتصاديا، وذلك ابتداء من هذا العام (2005) وحتى عام 2050. فمن المُتَوَقع أن ينخفض التعداد السكاني في ألمانيا من 83 إلى 79 مليون نسمة، وفي إيطاليا من 58 إلى 51 مليون نسمة، وفي اليابان من 128 إلى 112 مليون نسمة، وبشكل ملحوظ جدا من 143 إلى 112 مليون نسمة في روسيا الاتحادية. ومنذ ذلك الحين فصاعدا، سوف يكون التعداد السكاني في روسيا الاتحادية أقل بقليل من التعداد السكاني في اليابان.

والتباطؤ في نمو التعداد السكاني في كل مكان يعني أن القرن العشرين كان على الأرجح آخر فترة في تاريخ البشرية فيه عدد الأشخاص الأصغر عمرا أكبر من عدد كبار السن. ووصلت نسبة جميع الأشخاص الذين كانت أعمارهم 4 سنوات أو أصغر إلى قيمتها العظمى وهي 14.5% في عام 1955، ثم انخفضت تدريجيا إلى 9.5% بحلول عام 2005، في حين ارتفعت نسبة الأشخاص الذين كانت أعمارهم 60 سنة أو أكبر من 8.1% في عام 1960 إلى 10.4% في عام 2005. وطوال عام 2000، مثلت كل مجموعة نحو 10% من تعداد البشرية. ومن الآن فصاعدا سوف تكون لكبار السن الغلبة عدديا.

ويعكس هذا التفاوت بين نسبة أعداد صغار السن ونسبة أعداد كبار السن كلا من التحسن في فرص البقاء والانخفاض في الخصوبة. فقد ارتفع متوسط العمر من 30 سنة تقريبا في بداية القرن العشرين إلى أكثر من 65 سنة في بداية القرن الحادي والعشرين؛ ولكن التأثير الأكثر قوة هو الانخفاض في الخصوبة، مما يؤدي إلى انخفاض أعداد السكان الأصغر سنا.

لا يحدث ازدياد نسبة كبار السن في المجتمع البشري بشكل منتظم حول العالم. ففي عام 2050 سوف يكون عمر شخص واحد تقريبا من كل ثلاثة أشخاص، 60 سنة أو أكثر في المناطق الأكثر تقدما، ومن كل خمسة أشخاص في المناطق الأقل تقدما. لكن في 11 دولة من الدول الأقل تقدما، مثل: أفغانستان، أنغولا، بوروندي، التشاد، جمهورية الكنغو الديموقراطية، غينيا الاستوائية، غينيا بيساو، ليبيريا، مالي، النيجر وأوغندا، سوف تكون أعمار نصف

(*) Crossroads for Population



التعداد السكاني[*]

تعتمد تقديرات تعداد السكان العالمية على افتراضات حول اختيارات البشر.

يعتمد التقدير المتوسط لـ **9.1 بليون** نسمة في عام 2050 على افتراض أن الخصوبة سوف تستمر في اتجاهها نحو الانخفاض.

ففي المتوسط، إذا أنجبت السيدات نصف طفل فقط، كزيادة عما هو مُفترض، فبحلول عام 2050 سوف يصبح عدد سكان العالم **10.6 بليون** نسمة.

وسوف يصبح هذا العدد **7.7 بليون** نسمة لو أنجبت كل سيدة نصف طفل أقل.

وإذا ظلت معدلات الخصوبة في عام 2005 ثابتة حتى عام 2050، فسوف يصل عدد سكان العالم إلى **11.7 بليون** نسمة.

السكان 23 سنة أو أقل.

وإذا استمرت المناحي[1] وفقا لما هو مُتوقع لعام 2050، فإن جميع النمو السكاني العالمي سوف يكون فعليا في المدن. لذا، سيجب على الدول الفقيرة بناء ما يعادل مدينة بحجم مليون شخص كل أسبوع في السنوات الـ 45 القادمة.

مع أن التوقعات الديموغرافية البعيدة المدى للتوزيع السكاني حتى عام 2050 وما بعده هي عملية روتينية، إلا أن النماذج الاقتصادية للتوقعات البعيدة المدى ليست متطورة بالدرجة الكافية؛ وهي مُعَرَّضَة لتغيرات لا يمكن التنبؤ بها في المؤسسات والتقانة، كما أنها مُعَرَّضَة لتحولات في نفوذ المناطق والقطاعات الاقتصادية. لكن معظم النماذج تتنبأ بأن العالم سوف يصبح أكثر ثراء. ووفقا لأحسن تقدير، يمكن أن تنخفض النسبة بين دخل الفرد في الدول الصناعية إلى مثيله في الدول النامية، من 16 إلى 1 في عام 1990 إلى ما بين 6.6 و 2.8 إلى 1 في عام 2050. وهذه الزيادات غير مؤكدة، حيث تتوقع نماذج أخرى تفاقما في الفقر.

إن التوقعات بزيادة بلايين الناس في الدول النامية وزيادة أعداد كبار السن في كل مكان، مقرونة بالأمل في نمو اقتصادي لفقراء العالم بوجه خاص، تثير التساؤل حول استدامة[2] الجيل الحالي والأجيال المستقبلية.

فوق قدرة تحمل البشر[**]

في المدى القريب، يستطيع كوكبنا أن يوفر سكنا وطعاما، بمستوى يكفل العيش على الأقل، لعدد من الأشخاص يساوي مرة ونصف المرة عدد الأشخاص الذين هم على قيد الحياة حاليا، وذلك لأن المجتمع البشري يقوم بالفعل بزراعة حبوب كافية لإطعام 10 بلايين نسمة بطعام نباتي. لكن كما لاحظ الإحصائي السيسيولوجي <D. دايڤيس> في عام 1991، «ليس في العالم بلد يرضى أهله بالقليل الذي بالكاد يكفيهم للأكل.» والسؤال هو ما إذا كان بلايين الناس يستطيعون في الخمسينات من هذا القرن العيش في حرية وازدهار مادي، حسب تعريف الحرية والازدهار من قِبل الذين هم على قيد الحياة عام 2050؛ وما إذا كان أبناؤهم وأحفادهم سيتمكنون من الاستمرار في العيش في حرية ورخاء، حسب تعريفهم لهما مستقبلا. وتلك هي مسألة الاستدامة.

هذا القلق قديمٌ قِدَم التاريخ. فقد أوضحت الألواح المسمارية المنقوشة في القرن السادس عشر قبل الميلاد أن البابليين كانوا خائفين من كون العالم مكتظا فعلا بالسكان. وفي عام 1798 جدد <T. مالتوس> هذه المخاوف، كما فعلت <D. ميدوس> في كتابها **حدود النمو** *The Limits to Growth* الذي نُشر عام 1972. وفي حين أن بعض الناس أزعجتهم الزيادة السكانية، فقد اطمأن المتفائلون إلى أن الآلهة أو التقانة ستؤمن رفاهية الجنس البشري.

لقد افترضت الجهود المبكرة لحساب قدرة الكرة الأرضية على استيعاب البشر، أنه يمكن قياس شرط ضروري لمجتمع بشري مستدام بوحدات أرض[3]. وفي أول حساب كمي معروف، افترض <A .V. ليوونهوك> في عام 1679 أن مساحة الأرض المأهولة بالسكان، كانت أكبر من هولندا بنحو 385 13 مرة، وأن عدد السكان في هولندا حينذاك كان نحو مليون نسمة. وقد كتب: «بافتراض أن الجزء المأهول من الأرض مكتظ بالسكان مثل هولندا، مع أنه لا يمكن أن يكون مأهولا بالسكان إلى تلك الدرجة، وبما أن هذا الجزء أكبر من هولندا بـ 385 13 مرة، فإن عدد سكان الأرض يساوي تقريبا 13.385.000.000.» أو بحد أقصى 13.4 بلايين نسمة.

واستمرارا في هذا التقليد، في عام 2002 قام <M. ويكرناگل> [صاحب فكرة «أثر القدم البيئي» ecological footprint] وزملاؤه بالبحث لتقدير مساحة الأرض التي استخدمها البشر للحصول على

(*) Population
(**) Beyond Human Carrying Capacity
(1) ج: منحى trend
(2) sustainbility
(3) land unit

مواردها وللتخلص من النفايات. وخلص تقديرهم التمهيدي إلى أن الجنس البشري قد استخدم 70% من سعة المحيط الحيوي الكروي في عام 1961 و120% في عام 1999. وبمعنى آخر، ادعى هؤلاء أنه في غضون عام 1999 كان الناس يستغلون البيئة أسرع مما كانت تستطيع تجديد نفسها، وهذه بشكل واضح حالة غير مستدامة.

لهذه المقاربة العديد من المشكلات. وربما تكون المشكلة الأكثر خطورة هي محاولة إقرار شرط لازم لاستدامة المجتمع البشري بدلالة البعد الوحيد لمساحة من الأرض منتجة بيولوجيا. فعلى سبيل المثال، لترجمة استخدام الطاقة إلى وحدات أرض، قام ‹ويكرناگل› وزملاؤه بحساب مساحة منطقة الغابات اللازمة لامتصاص ثنائي أكسيد الكربون الناتج من توليد الطاقة. لكن هذا الاقتراح غير مُجدٍ مع تقانة توليد الطاقة التي لا تبعث ثنائي أكسيد الكربون مثل: الألواح الشمسية، الطاقة المائية أو المحطات النووية. وإن تحويل جميع وسائل إنتاج الطاقة إلى طاقة نووية سوف يؤدي إلى تغيير المعضلة من صعوبة في التخلص من نسبة كبيرة جدا من ثنائي أكسيد الكربون إلى استهلاك كبير جدا للوقود النووي. وتظل مشكلة الاستدامة قائمة، لكن مساحة من الأرض منتجة بيولوجيا لا تُعتبر مؤشرا مفيدا لها.

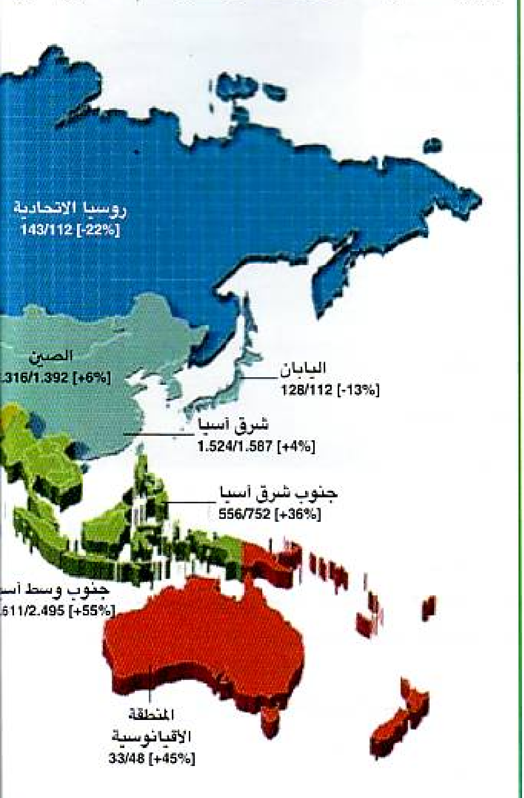
وثمة تقديرات أخرى أحادية البعد تم اقتراحها كحدود عليا لقدرة تحمل البشر تشمل: الماء والطاقة والطعام وعناصر كيميائية متعددة لازمة لإنتاج الطعام. إن الصعوبة مع كل دليل بمفرده لقدرة تحمل البشر هي في أن معناه يعتمد على قيمة العوامل الأخرى. فعلى سبيل المثال، إذا كان الماء نادرا والطاقة متوفرة جدا، يكون من السهل أن نقوم بتحلية المياه ونقلها؛ أما إذا كانت الطاقة مُكلفة، فقد تكون تحلية المياه ونقلها غير عملية.

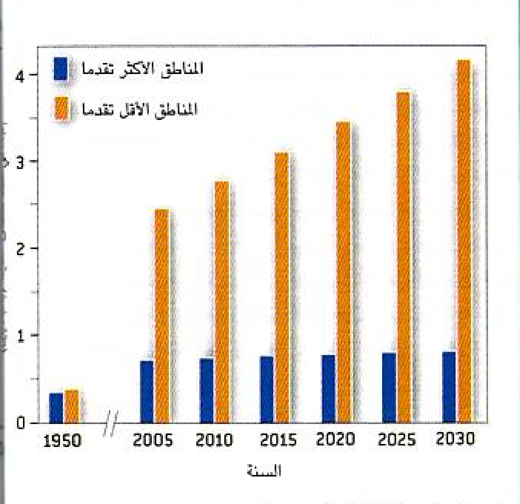
إن المحاولات لتقدير كمّي لقدرة الأرض على استيعاب البشر أو تقدير حجم مجتمع بشري مستدام تواجه التحدي المتمثل بفهم القيود التي تفرضها الطبيعة، والاختيارات التي يواجهها الناس، والتفاعلات فيما بين هذه القيود والاختيارات. وفي موقع آخر من هذا العدد، تُعالج بعض القيود التي تفرضها الطبيعة. وهنا، سوف أوجهُ الانتباه إلى الأسئلة حول الاختيار البشري المشمول في تقييم الاستدامة.

ماذا سيرغب البشر وماذا سيقبلون كمستوى متوسط لتوزيع الرفاهية المادية في عام 2050 وما بعده؟ أي نوع من التقانة سوف يتم استخدامه؟ أي نوع من المؤسسات السياسية الداخلية أو الدولية سوف يتم استخدامه لحل النزاعات؟ أي نوع من الترتيبات الاقتصادية سوف يوفر الأرصدة وينظم التجارة ويحدد المعايير ويستثمر رؤوس الأموال؟ أي نوع من الترتيبات الاجتماعية والديموغرافية سوف يؤثر في الإنجاب والصحة والتعليم والزواج والهجرة والوفيات؟ في أي نوع من البيئات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية سوف يرغب الناس بالعيش؟ ما مستوى التقلبية[1] الذي سيكون الناس مستعدين لتحمله؟ (إذا لم يمانع الناس في رؤية حجم المجتمع البشري وهو ينخفض بالبلايين عندما يصبح المناخ غير ملائم، فإنهم قد ينظرون إلى زيادة سكانية أكبر بكثير على أنها مستدامة عندما يكون المناخ ملائما.) ما مستوى الخطورة الذي سيكون الناس مستعدين لتحمله؟ (هل انزلاقات الطين أو الأعاصير أو الفيضانات مخاطر مقبولة أم لا؟ سوف تؤثر الإجابة في مساحة الأرض التي تعتبر صالحة للعيش عليها.) ما الأفق الزمني المفترض؟ وأخيرا، وهذا من الأهمية بمكان، كيف ستكون قيم وأذواق الناس مستقبلا؟ وكما ذكر الأنثروبولوجي ‹D .L. هاردستي› في عام 1977، «قد يكون لقطعة من الأرض قدرة تحمل منخفضة[2]، ليس بسبب انخفاض خصوبة تربتها ولكن لكونها مقدسة أو مسكونة بالأشباح.»

تعداد سكان العالم في تحول(*)

سوف يكون للنمو المتفاوت تأثير إضافي في التوازن السكاني بين الدول الغنية والدول الفقيرة. في عام 2005 ستكون الدول المتقدمة موطنا لـ بليون نسمة من الـ 6.5 بليون نسمة من سكان العالم؛ أما الدول الأقل تقدما





تعداد السكان الحضريين

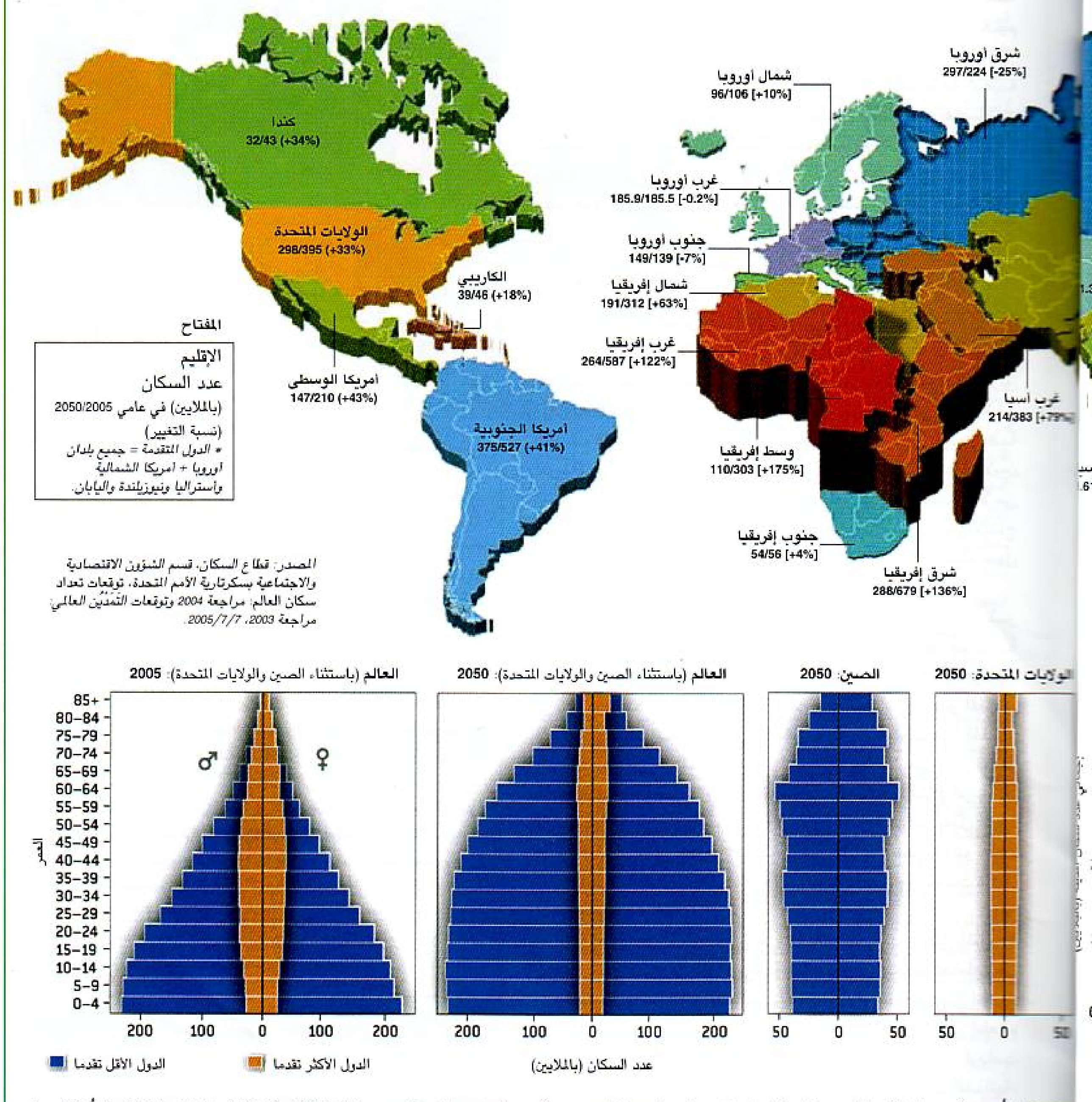
وفقا للتوقعات التي يعرضها مستوى الدخل القومي، فإن تعداد السكان الحضريين (المدينيين) في الدول الفقيرة يزداد أسرع بكثير من الدول الغنية. وسوف يتأتى 60% من النمو السكاني الحضري بالدول النامية من زيادة عدد المواليد على عدد الوفيات ويتأتى الباقي من الهجرة الداخلية لسكان الريف إلى المدن.

(*) Global Population In Transition

(1) variability

(2) low carrying capacity

سكن موطنا لـ5.3 بليون نسمة آخرين. وفي عام 2050 سوف يظل عدد السكان في الدول الغنية نحو 1.2 بليون نسمة، لكن عدد السكان في الدول الفقيرة سوف يزداد حتى يبلغ 7.9 بليون نسمة. وسوف يؤدي الانخفاض في معدلات الخصوبة إلى تناقص عدد السكان في بعض الدول الغنية ابتداء من عام 2010. كذلك ستنخفض وسطيا الخصوبة في الدول النامية إلى ما يقدر بـ2.1 طفل لكل سيدة عند نحو عام 2035، مع أن معدلات المواليد في بعض الدول الأفقر سوف تظل أعلى.



البنية العُمرية: تتشكل البنية العمرية للسكان أيضا عن طريق الاختلافات في الخصوبة. ففي الدول الأقل تقدما، حيث يزداد عدد السكان بسرعة، تكون كل مجموعة جديدة أكبر من سالفتها ويشبه المجتمع السكاني هرما ضخم القاعدة. أما في الدول الأكثر تقدما، حيث تكون الخصوبة منخفضة والبقيا survival عند أعمار كبيرة مرتفعة، فإن الهرم يشبه عمودا سوف يصبح أكثر تكاثفا عند قمته في الـ 45 سنة القادمة. يُستثنى من ذلك كل من الصين وأمريكا؛ فسياسة الصين الطويلة المدى والخاصة بتحديد طفل واحد فقط لكل أسرة، تعطي بنية سكانية أكثر تشابها بالبنية الخاصة بالدول المتقدمة، في حين أن الهجرة الضخمة إلى الولايات المتحدة تبقيها «أصغر سنا» من معظم الدول المتقدمة.

البطاقة الهوجاء للهجرة(*)



مواطنون أمريكيون جدد.

إن للهجرة تأثيرا مباشرا وضئيلا في حجم المجتمع البشري العالمي لكنها قد تُسرِّع من تباطؤ النمو السكاني. إن النازحين[1] الذين ينتقلون من مناطق ذات خصوبة عالية إلى مناطق ذات خصوبة منخفضة، أو أحفادهم، غالبا ما يتبنون أنماط الخصوبة المنخفضة الخاصة بمناطقهم الجديدة، مع تأخر ذلك لبعض الوقت. فمن عام 2005 وحتى عام 2050، من المُتوقّع أن تحصل المناطق الأكثر تقدما على مهاجرين مغتربين أكثر من النازحين بنحو 2.2 مليون نسمة سنويا، ومن المُتوقع أن تستقبل الولايات المتحدة الأمريكية نحو نصف هذا العدد.

إضافة إلى معظم المتغيرات الديموغرافية، فإن الهجرة الدولية المستقبلية تخضع لاختيارات الحكومات القومية لسياساتها الدولية، مما يجعل الأمر صعب التوقع. وبافتراض استمرار المستويات الحالية للهجرة، فقد يكون صافي الـ 98 مليون مهاجر المُتوقع انتقالهم إلى المناطق المتقدمة خلال الفترة من 2005 إلى 2050 أكثر من تعويض الخسارة المُتوقعة لـ 73 مليون نسمة في تلك الدول نتيجة لزيادة عدد الوفيات على عدد المواليد. وقد لا تؤثر سيناريوهات مختلفة للهجرة الدولية بشكل كبير في الارتفاع الحاد لدى الدول الغنية في نسبة التبعية المسنة proportion of dependent elderly المتوقعة في القرن القادم، مع أنهم قد يؤثرون بشكل كبير في حجم الجماعة السكانية.

ففي عام 2000، على سبيل المثال، توقع مكتب الإحصاء السكاني الأمريكي ما ستكون عليه أعداد السكان عام 2050 وذلك تبعا لمستويات مختلفة من الهجرة. وقد تراوحت النتائج من 328 مليون نسمة وهو ما يمثل زيادة سكانية قدرها 20% من دون هجرة، إلى 553 مليون نسمة، وهو ما يمثل زيادة قدرها 80% بأعلى مستوى للهجرة – سيرتفع صافي الهجرة السنوية المفترضة بمقدار 2.8 مليون نسمة وذلك بحلول عام 2050. وبغض النظر عن الهجرة، فسوف ترتفع بحدة نسبة أعداد الأشخاص المسنين نسبة إلى أعداد الأشخاص الذين هم في سن العمل بالولايات المتحدة الأمريكية وذلك من عام 2010 حتى نحو عام 2035 وسوف تزداد هذه النسبة تدريجيا فيما بعد. وبحلول عام 2050، من المُتوقع أن تصل تلك النسبة إلى 39% من دون الهجرة وستكون 30% بأعلى مستوى من الهجرة.

لقد افترضت معظم التقديرات المنشورة عن قدرة الكرة الأرضية على استيعاب البشر إجابات غير حاسمة لسؤال أو أكثر من هذه الأسئلة. وفي كتابي بعنوان «*كم عدد الناس الذين تستطيع الأرض إعالتهم؟*» *How Many People Can The Earth Support?* عرضت تجميعا وتحليلا لأكثر من خمس دستات (ستين تقديرا) من تلك التقديرات التي تم نشرها ابتداء من عام 1679 فصاعدا. وتتراوح التقديرات التي تمت في النصف قرن الماضي بين أقل من بليون إلى أكثر من 1 000 بليون تقدير.

وهذه التقديرات عبارة عن أرقام سياسية، تهدف لإقناع الناس بطريقة أو بأخرى بأن الأرض مكتظة فعلا بالسكان أو ليس ثمة مشكلة في الاستمرار في نمو سكاني سريع.

والأرقام العلمية تهدف إلى وصف الواقع. ولأن التقديرات لقدرة تحمل البشر لم تناقش الأسئلة المطروحة آنفا بشكل واضح، آخذين في الاعتبار الاختلاف في وجهات النظر عند الإجابة عن تلك الأسئلة في مجتمعات وثقافات مختلفة، فليس ثمة تقديرات علمية عن حجم المجتمع البشري المستدام.

غالبا ما يكون التركيز أكثر مما ينبغي على الاستدامة البعيدة المدى انحرافا عن المشكلة المباشرة لجعل المستقبل أفضل من الحاضر، وهذه مهمة توفر مجالا أوسع للعلوم والعمل البناء. لذلك، دعونا نأخذ في الاعتبار وباختصار اتجاهين ديموغرافيين مهمين جدا، هما التمدين[2] وتقدم العمر، وبعض الاختيارات التي يطرحانها.

ازدهار أم انفجار؟(**)

تم إنشاء العديد من المدن الكبرى في مناطق ذات إنتاجية زراعية ممتازة، مثل وديان الأنهار، أو في مناطق ساحلية وجزر ذات وسائل ملائمة للدخول إلى مصادر الطعام البحري والتجارة عن طريق الملاحة البحرية. فإذا تضاعف عدد سكان المدن في العالم في النصف قرن القادم ليزيد على ثلاثة بلايين نسمة إلى 6 بلايين نسمة تقريبا، في حين يظل عدد سكان الريف في العالم ثابتا عند 3 بلايين نسمة تقريبا. وإذا توسع العديد من المدن في المساحة بدلا من الزيادة في الكثافة السكانية، فإنه من الممكن أن تتوقف عن الإنتاج الأراضي الزراعية الخصبة حول تلك المدن، وأن تواجه المياه حول المدن الساحلية أو الجزر أخطارا متزايدة من نفايات المدن.

في الوقت الحالي، يعيش نصف سكان الكوكب الأكثر استقرارا وكثافة على ما يتراوح بين 2% و 3% من مساحة الأرض الخالية من الثلج. وإذا تضاعفت المدن في المساحة وكذلك في عدد السكان بحلول عام 2050، من الممكن أن تنمو المناطق الحضرية[3] لتشغل 6% من الأرض. وإذا تم سحب هذا المقدار على الأغلب من مساحة الـ 10% إلى 15% من الأرض التي تُعتبر قابلة للزراعة، فقد يكون لذلك تأثير ملحوظ في الإنتاج الزراعي. فتخطيط المدن لتجنب استهلاك الأرض القابلة للزراعة يعمل كثيرا على تخفيف تأثير نموها السكاني في إنتاج الطعام، وهو هدف من الأهمية بمكان بالنسبة إلى سكان المدن من حيث تأمين احتياجاتهم الغذائية.

إذا لم يزدهر الإنتاج الزراعي الغذائي في المدن، ففي المتوسط سوف يتعين على كل امرأة ريفية (باعتبار أن معظم العاملين في الزراعة على مستوى العالم من النساء) أن تتحول من إطعام نفسها وواحد من المدينيين (سكان المدينة) حاليا، إلى إطعام نفسها واثنين من المدينيين في أقل من نصف قرن. وإذا ازدادت كثافة الإنتاج الزراعي الريفي، فإن الطلب على المنتجات الغذائية، إضافة إلى التقانة التي تمدها المدن المتطورة إلى المناطق الريفية، قد يرفع في نهاية المطاف كاهل الفقر عن المزارعين في الريف،

(*) The Migration Wild Card
(**) Boom or Bomb?
(1) emigrant نازح: مهاجر داخل دولته.
(2) urbanization
(3) urban

كما حدث في العديد من الدول الغنية. ومن ناحية أخرى، إذا جرى استخدام مخصبات كيميائية وبيوسيدات biocides أكثر لزيادة المحاصيل الزراعية، قد يتسبب في إنهاك البيئة إلى حد كبير.

وبالنسبة إلى سكان المدن، إذا لم تقم فيها أعمال صرف صحي ملائمة لتوفير مياه نظيفة والتخلص من النفايات، فإن التمدين يهدد بمخاطر مخيفة نتيجة لانتشار أمراض معدية. وكذلك تركز المدن حاليا على فرص تحسين الإغناء التربوي والثقافي، والحصول على الرعاية الصحية، وتنوع الوظائف. لذلك، إذا وجب بناء نصف البنية التحتية المدينية التي ستوجد في سنة 2050 خلال الـ45 سنة القادمة، فإن فرصة تصميم وبناء وتشغيل وصيانة المدن الجديدة لتصبح أفضل من تلك القديمة، هائلة ومثيرة وتنافسية.

في المتوسط، تقوم حاليا عاملة فلاحة بإطعام نفسها وواحد من سكان المدينة. وفي عام 2050 سوف تضطر إلى إطعام نفسها واثنين من سكان المدينة.



سوف تتفاعل المدينية مع التغيير الذي يطرأ على المجتمعات البشرية بسبب التقدم في السن. ترفع المدن المكافآت المادية التي تقدمها للعاملين الأصغر سنا والأفضل تعليما، في حين أن حرية الحركة التي تحفزها غالبا ما تُضعف شبكات الاتصال التقليدية مع الأقرباء، وهذه الشبكات توفر دعما عائليا لكبار السن. ففي الريف، قد تحصل سيدة كبيرة في السن غير متعلمة على دعم عائلي وعمل إنتاجي في الزراعة، ولكنها إذا عاشت في المدينة تجد صعوبة في الحصول على كل من الدعم المعيشي والاجتماعي.

بعد عام 2010، ستواجه معظم الدول تسارعا حادا في معدل الزيادة في نسبة التبعية المسنة[1]. وسوف يحدث التحول أولا وبدرجة كبيرة جدا في الدول الأكثر تقدما، في حين ستواجه الدول الأقل تقدما زيادةً بطيئةً في نسبة التبعية المسنة بعد عام 2020. وبحلول عام 2050، سوف تقترب نسبة التبعية المسنة للدول الأقل تقدما من تلك النسبة التي ظهرت في عام 1950 في الدول الأكثر تقدما.

على أي حال، إن الاستنتاج مباشرةً من العمر إلى الأعباء الاقتصادية والاجتماعية عملية غير جديرة بالثقة. فالعبء الاقتصادي الذي يفرضه المسنون سوف يعتمد على صحتهم وعلى المؤسسات الاقتصادية المُتاحة لتقديم عمل لهم وعلى المؤسسات الاجتماعية التي توفر الرعاية لهم.

وعلى الرغم من وجود مشكلات حادة في بعض الاقتصادات الخاضعة للتحول وفي المناطق المُصابة بالإيدز، فإن مناحي صحة المسنين هي إيجابية إجمالا. فعلى سبيل المثال، انخفض معدل الإعاقة المزمنة بين المسنين الأمريكيين بشكل سريع بين عامي 1982 و 1999. وكنتيجة لذلك، في عام 1999 كان عدد الأمريكيين المسنين الذين كانوا يعانون إعاقات مزمنة أقل بنسبة 25% مما كان مُتوقعا لهم لو ظل معدل الإعاقة الأمريكية ثابتا منذ عام 1982.

وحيث إن الشخص الأكبر سنا يعتمد أولا على قرينه أو قرينها (إذا وُجد قرين) عند مواجهة أي صعوبة، فإن الحالة الاجتماعية تُعتبر أيضا مفتاحا مؤثرا في ظروف الحياة بين المسنين. فالمسنون المتزوجون لديهم فرصة أكبر للعيش في بيوتهم بدلا من المؤسسات؛ مقارنة بالعزاب والأرامل والمطلقين.

وتعتمد الاستدامة بالنسبة إلى المسنين ليس فقط على السن والنوع والحالة الاجتماعية ولكن أيضا على توفر أحفاد يدعمونهم وعلى وضعهم الاقتصادي ـ الاجتماعي، وعلى الخصوص المستوى التعليمي. والتعليم الأفضل عند سن الشباب يرتبط بصحة أفضل عند الكبر. ومن ثم، فإن إحدى الاستراتيجيات الواضحة لتحسين استدامة الموجة القادمة من كبار السن هي الاستثمار اليوم في تعليم الشباب، متضمنا تعليمهم تلك السلوكيات التي تحافظ على الصحة وتشجع على استقرار الزواج. وهناك استراتيجية أخرى واضحة وهي الاستثمار في المعاهد الاقتصادية والاجتماعية التي تُسهل من زيادة الإنتاجية الاقتصادية والترابط الاجتماعي بين الأشخاص المسنين.

لا أحد يعرف الطريق إلى الاستدامة لأنه لا أحد يعرف قدره. ولكن ما نعرفه أكثر هو أننا نستطيع أن نعمل اليوم لنجعل غدا أفضل مما قد يكون عليه لو لم نستغل ما نعرفه في العمل. وكما ذكر الاقتصادي <R. كاسن>، «إجمالا، إن كل شيء يحتاج إلى العمل من وجهة نظر السكان، يجب عمله على أي حال.» ■

(1) elderly dependecy ratio: نسبة عدد الأشخاص الذين تجاوزت أعمارهم الـ64 سنة إلى عدد الأشخاص الذين تتراوح أعمارهم بين 15 و 64 سنة. (التحرير)

المؤلف

Joel E. Cohen

هو أستاذ السكانيات ورئيس مختبر السكانيات في جامعة روك فيلّر وجامعة كولومبيا. قام بدراسة البيولوجيا السكانية وعلم الإحصاءات السكانية وعلم البيئة وعلم الأوبئة وذلك باستخدام الرياضيات والإحصاء. وهو مؤلف أو مؤلف مشارك أو محرر لدزينة كتب، وقد نشر أكثر من 320 ورقة بحث. فاز بجائزة تايلور للإنجازات البيئية، وجائزة نوردبرگ للتميز في الكتابة في علم السكان، وجائزة <F. L. سوبير> لمؤسسة پان أمريكان للصحة لأبحاثه على مرض شاكاس.

مراجع للاستزادة

How Many People Can the Earth Support? Joel E. Cohen.W.W.Norton, 1995.

A Concise History of World Population: An Introduction to Population Processes. Third revised edition. Massimo Livi-Bacci. Blackwell Publishers, 2001.

Demography: Measuring and Modeling Population Processes. Samuel H. Preston, Patrick Heuveline and Michel Guillot. Blackwell Publishers, 2001.

United Nations Population Division Home Page: **www.un.org/esa/population/unpop.htm**

Population Reference Bureau: **www.prb.org/**

هل يمكن القضاء على الفقر المدقع؟(*)

تعمل اقتصادات السوق والعولمة على انتشال معظم البشر من حالة الفقر المدقع، إلا أن هناك بعض المعايير اللازمة لمساعدة أفقر الفقراء.

<J. D. ساش>

لقد عانى تقريبا كل من عاش في الماضي من الفقر الشديد. فقد كانت المجاعات ووفاة المواليد والأمراض المعدية ومخاطر أخرى لا حصر لها عبارة عن قاعدة عامة عبر معظم فترات التاريخ. ولكن الأزمة الرهيبة التي يواجهها البشر قد بدأت بالتغيير مع الثورة الصناعية التي بدأت نحو عام 1750. لقد ساعدت قريحة العلماء والابتكارات التقانية الحديثة عدداً متزايداً من سكان العالم على التخلص من الفقر المدقع.

وفي غضون قرنين ونصف من بدء الثورة الصناعية تمكّن أكثر من 5 بلايين نسمة من سكان العالم البالغ عددهم 6.5 بليون من توفير احتياجات المعيشة الأساسية، ومن ثم يمكن القول إنهم تخلصوا من الأوضاع المحفوفة بالمخاطر التي سيطرت على الحياة اليومية. ولكن مازال هناك واحد من بين كل ستة من سكان هذا الكوكب يصارع يوميا لتوفير بعض أو جميع متطلباته الحيوية مثل الغذاء الكافي ومياه الشرب النقية والمأوى الآمن والصرف الصحي والرعاية الصحية الأساسية. يعيش مثل هؤلاء الناس على دولار أمريكي واحد أو أقل يوميا ويحرمون من الخدمات العامة الصحية والتعليم أو البنية التحتية. يموتُ كل يوم أكثر من 20 000 شخص نتيجة الفقر الشديد بسبب الحاجة إلى الطعام ومياه الشرب النقية والعلاج أو بسبب متطلبات أخرى ضرورية.

للمرة الأولى في التاريخ يتم تحقيق رفاهية اقتصادية للعالم أجمع من خلال التقدم العلمي والتقاني المستمر والتعزيز الذاتي لتراكم الثروة التي مكنت العالم من الاقتراب من القضاء على الفقر المدقع نهائيا. قد يبدو هذا البعد أمرا خياليا بالنسبة إلى البعض، لكن النمو الاقتصادي المذهل الذي حققته الصين والهند وغيرهما من الدول المنخفضة الدخل في آسيا خلال الخمسة والعشرين عاما الماضية أوضح بجلاء أن هذا الأمر حقيقي. فضلا على ذلك، فإن الاستقرار المُتوقع لحجم السكان في العالم بحلول منتصف هذا القرن سوف يساعد على تخفيف الضغوط على مناخ الأرض والنظم البيئية والموارد الطبيعية، وهي الضغوط التي كان من الممكن أن تقضي على هذه المكاسب الاقتصادية.

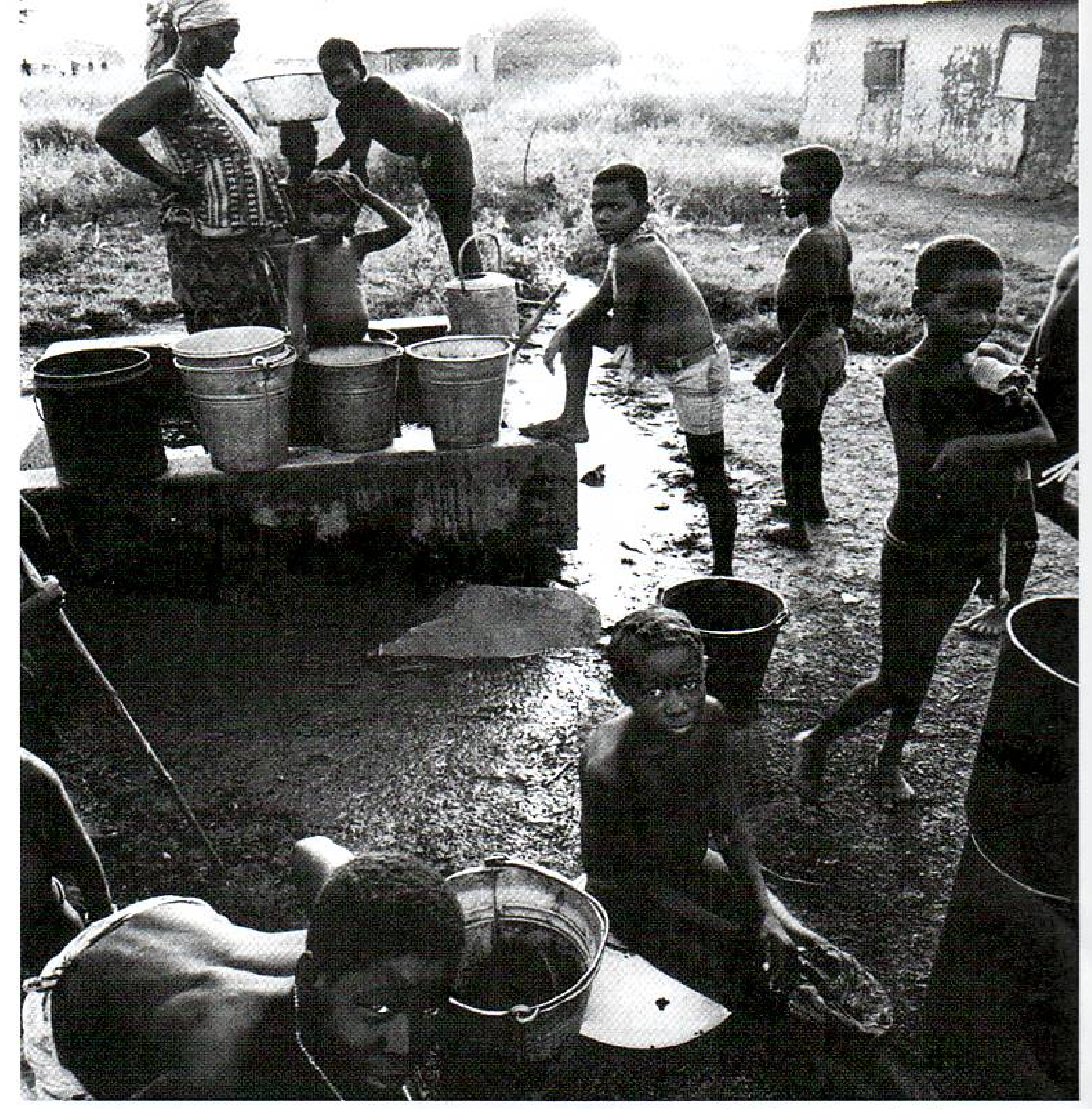
على الرغم من أن النمو الاقتصادي قد أوضح أنه من الممكن انتشال عدد هائل من البشر من الفقر المدقع، فإن التقدم في هذا المجال ليس تلقائيا أو حتميا. فقوى السوق والتجارة الحرة ليست كافية. لقد وقع الكثير من الدول الفقيرة في مصيدة الفقر، حيث لا يتوافر عند تلك الدول الموارد المالية التي تُمكنها من القيام بالاستثمارات اللازمة لتأسيس البنية التحتية والتعليم وأنظمة الرعاية الصحية ومتطلبات حيوية أخرى. وتكون نهاية هذا الفقر ممكنة إذا تم القيام بجهد دولي، كما وعدت دول العالم عندما تبنت **أهداف الألفية للتنمية** Millennium Development Goals في قمة الألفية للأمم المتحدة عام 2000. لقد بدأ كادر مكرس من هيئات التنمية ومؤسسات مالية دولية ومنظمات غير حكومية ومجتمعات مختلفة في دول العالم النامي بإنشاء شبكة من الخبراء وذوي النوايا الحسنة للمساعدة على تحقيق هذا الهدف.

في الشهر 2005/1 في مشروع الألفية للأمم المتحدة قمتُ (المؤلف) مع زملاء لي بنشر خطة لتخفيض معدل الفقر المدقع إلى النصف بحلول عام 2015 (مقارنة بعام 1990) ولتحقيق أهداف كَمية أخرى لتخفيض مستويات الجوع والمرض والتدهور البيئي. وفي كتابي الأخير **نهاية الفقر** The End of Poverty افترضت أن الجهد الاستثماري العام الواسع النطاق والموجَّه قد يستطيع في الواقع أن يقضي على هذه المشكلة بحلول عام 2025، مثلما تم القضاء على مرض الجدري بشكل نهائي من العالم. إن هذا الافتراض مثير للجدل، ويسعدني لذلك أن أحصل على الفرصة لتوضيح حجته الأساسية وأن أرد على جوانب القلق المختلفة التي أثيرت حوله.

فيما وراء العمل كالمعتاد(**)

في السنوات القليلة الماضية، تعلم الاقتصاديون الكثير عن كيفية نمو الدول وعن طبيعة العقبات التي تعوق طريقها. هناك حاجة حاليا إلى نوع جديد من اقتصادات التنمية يرتكز بشكل أفضل على العلم... **اقتصادات تشخيصية** clinical economics مماثلة للطب الحديث. وحاليًا، يُدرك أساتذة الطب أن المرض ينشأ عن مجموعة كبيرة من العوامل والظروف التي تتفاعل فيما بينها، مثل: الكائنات الدقيقة المسببة للمرض وعوامل التغذية والبيئة والتقدم في العمر والعوامل الوراثية الخاصة بالفرد والمجموعة السكانية ونمط الحياة. كما يُدرك هؤلاء أن السبيل الوحيد للعلاج المناسب هو القدرة على التشخيص الفردي لسبب المرض. وعلى النمط نفسه، يحتاج الاقتصاديون المتخصصون في مجال التنمية إلى مهارات تشخيص أفضل لإدراك أن الأمراض الاقتصادية لها أسباب تشمل العديد من العوامل التي تختلف عن العوامل التقليدية المعروفة من

(*) CAN EXTREME POVERTY BE ELIMINATED?
(**) Beyond Business as Usual



من الممكن أن يصير الفقر المدقع إحدى ذكريات الماضي في غضون عدة عقود إذا تمكنت الدول الغنية في العالم من تخصيص نسبة صغيرة من ثروتها لمساعدة 1.1 بليون نسمة من السكان الفقراء على هذا الكوكب للخروج من أوضاع الفقر الشديد الذي تعيشه. وفي الحقيقة يتم خدمة قرية بالكامل في غانا بوساطة ماسورة مياه رأسية واحدة.

خلال الممارسة الاقتصادية.

إن وجهة النظر العامة في الدول الغنية غالبا ما تنسب أسباب الفقر الشديد فيها إلى خطأ الناس أنفسهم - أو على الأقل إلى خطأ حكوماتهم. وكان من المُعتقد أن الأصل العرقي هو العامل الحاسم في ذلك؛ ثم توجه الاعتقاد إلى الثقافة، مثل: الحدود والمحظورات الدينية والنظم الطبقية وضعف عنصر المبادرة للقيام بالمشروعات وعدم المساواة بين الجنسين. مثل هذه النظريات أخذت تضعُف تدريجيا، حيث قامت مجتمعات ذات أديان وثقافات متعددة جدا بتحقيق رخاء نسبي. فضلا على ذلك، فإن العديد من النواحي الثقافية الجامدة (مثل الخيارات المرتبطة بالخصوبة والنوع والقواعد الطبقية) قد تتغير في الواقع بصورة مذهلة عندما تصير المجتمعات حضرية ومتقدمة اقتصاديا.

حديثا، ركز المعلقون على مصطلح «سوء الحكم»، وهو المصطلح الذي غالبا ما يُطلق على الفساد الإداري. فقد زعموا أن سبب الفقر الشديد يرجع إلى فشل الحكومات في فتح أسواقها وتوفير الخدمات العامة والقضاء على الرشوة. وقد قيل إنه إذا قامت هذه الأنظمة بتنقية سياساتها، فإنها قد تزدهر أيضا. لقد صارت جهود المساعدة التنموية عبارة عن سلسلة من محاضرات عن الحكم الجيد بشكل كبير.

إن توافر بيانات السلاسل الزمنية والبيانات المقطعية بين الدول

حاليًا يسمح للمتخصصين بإجراء تحاليل منظمة أكثر بكثير. وعلى الرغم من استمرار الجدل حول هذا الموضوع، فإن الشواهد تُشير إلى أن الحكم يُحدث فرقا، ولكنه ليس السبيل الوحيد للنمو الاقتصادي. ووفقا للدراسات التي تمت بوساطة مؤسسة **الإفصاح الدولي** Transparency International، لاحظ مديرو الأعمال أن العديد من الدول الآسيوية التي تنمو بمعدلات سريعة أكثر فسادا من بعض الدول الإفريقية التي تنمو ببطء.

إن العوامل الجغرافية ـ التي تشمل مصادر طبيعية، مثل: المناخ وطبوغرافية الأرض والقرب من مسارات التجارة والأسواق الرئيسية ـ لها على الأقل المستوى نفسه من الأهمية الذي يُمثله الحكم الجيد. في عام 1776، زعم <أدم سميث> أن ارتفاع تكاليف النقل تحول دون تقدم المناطق الداخلية في إفريقيا وآسيا. كذلك تتداخل مظاهر جغرافية أخرى مثل العبء الثقيل للمرض في المناطق الدارية. وفي دراسة أخيرة لزميل لي في جامعة كولومبيا (وهو <X. سالا-I-مارتين>) اتضح مرة أخرى أن الدول الاستوائية التي تُعاني انتشار مرض الملاريا حققت معدلات أقل للنمو من الدول الخالية من المرض. ولحسن الحظ أن العوامل الجغرافية تُشكل المصير الاقتصادي للدولة لكنها لا تُحدده. تستطيع التقانة أن تقوم بعملية توازن فيما بينها، كالآتي: يمكن مواجهة الجفاف بوساطة أنظمة الري ومواجهة العزلة بوساطة الطرق والهواتف النقالة ومواجهة الأمراض بوساطة الإجراءات الوقائية والعلاجية.

تتمثل الفكرة الرئيسية الأخرى في أنه على الرغم من أن أقوى آليات محاربة الفقر المُدقع تتمثل في تشجيع مستويات النمو الاقتصادي العام، فإن المد المرتفع لا يكفي بالضرورة لدفع جميع القوارب. من الممكن أن يرتفع متوسط الدخل، لكن إذا كان توزيع الدخل غير متساو فإن استفادة الفقراء ستكون قليلة، ومن ثم تستمر جيوب الفقر (بصفة خاصة في الأقاليم الجغرافية المحرومة). فضلا على ذلك، النمو ليس ببساطة ظاهرة خاصة بالسوق الحرة، إذ يتطلب توفير الخدمات الحكومية الأساسية، مثل: البنية التحتية والصحة والتعليم والابتكارات التقانية والعلمية. من ثم، فإن العديد من التوصيات التي قُدمت خلال العقدين الماضيين المنبثقة من واشنطن- والتي تنص على أن تقوم حكومات الدول المنخفضة الدخل بتخفيض مستويات إنفاقها لكي تُفسح المجال للقطاع الخاص ـ قد أخطأت الهدف. إن الإنفاق الحكومي الموجه نحو الاستثمار في المجالات المهمة يُعد في حد ذاته دعامة حيوية للنمو، وبصفة خاصة إذا تم توجيه تأثيراته نحو أفقر الفقراء في المجتمع.

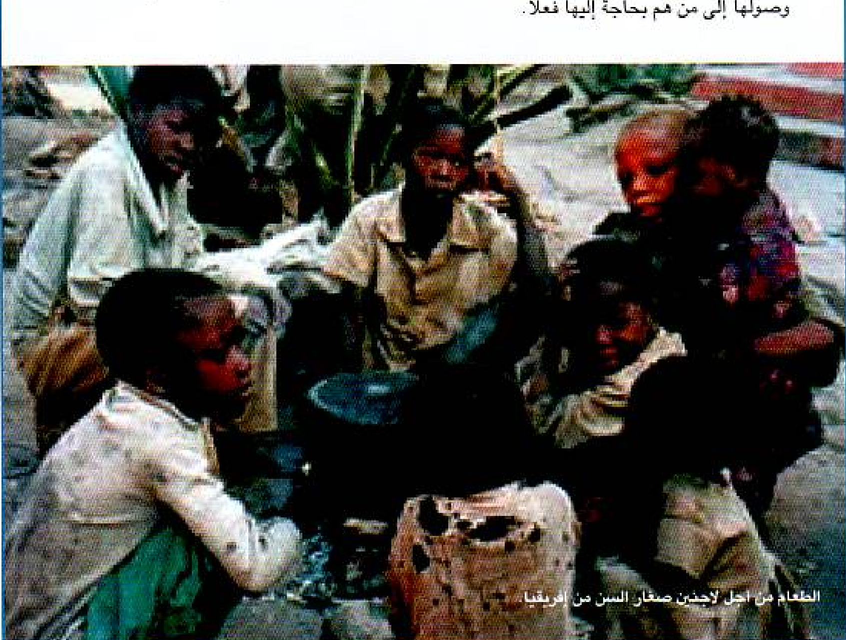
مفترق طرق أمام **الفقر**(*)

المشكلة:

- منذ بداية الثورة الصناعية في منتصف القرن الثامن عشر، نجح معظم البشر في انتشال أنفسهم من الفقر الشديد. إلا أن نحو 1.1 بليون نسمة من سكان العالم البالغ عددهم نحو 6.5 بليون نسمة في وقتنا الحالي هم مُعدمون كليا في عالم من الوفرة.
- هؤلاء التعيسون، الذين يعيشون على أقل من دولار أمريكي في اليوم لا يحصلون على كفايتهم من الغذاء ومياه الشرب النقية والمسكن الآمن والنظافة، إضافة إلى الصرف الصحي وخدمات الرعاية الصحية. ماذا يستطيع العالم المُتقدم أن يفعل لانتشال هذه الشريحة الضخمة من سكان العالم من الفقر الشديد؟

الخطة:

- إن مضاعفة المساعدات الدولية للفقر من قِبل الدول الغنية إلى نحو 160 بليون دولار سنويا سوف يسهم بشكل كبير في جعل الأزمة الرهيبة التي يواجهها واحد من كل ستة أشخاص من البشر أقل سوءا. سوف يُمثل هذا المبلغ نحو 0.5% من مجمل الناتج القومي للدول الغنية على الكوكب. ولأن هذه الاستثمارات لا تتضمن أشكالا أخرى من المساعدات مثل الإنفاق على إنشاء البنية التحتية الرئيسية أو التعامل مع التغير المناخي أو إعادة الإعمار بعد الحروب. لذا، على الدول المانحة أن تلتزم بتحقيق الهدف الطويل الأجل المُتمثل في تخصيص نسبة 0.7% من إجمالي الناتج القومي بحلول عام 2015 لمساعدات التنمية.
- قد تحتاج هذه المساعدات التي تُقدم غالبا إلى المجموعات المحلية، إلى مراقبةٍ ومراجعةٍ دقيقة لضمان وصولها إلى من هم بحاجة إليها فعلا.

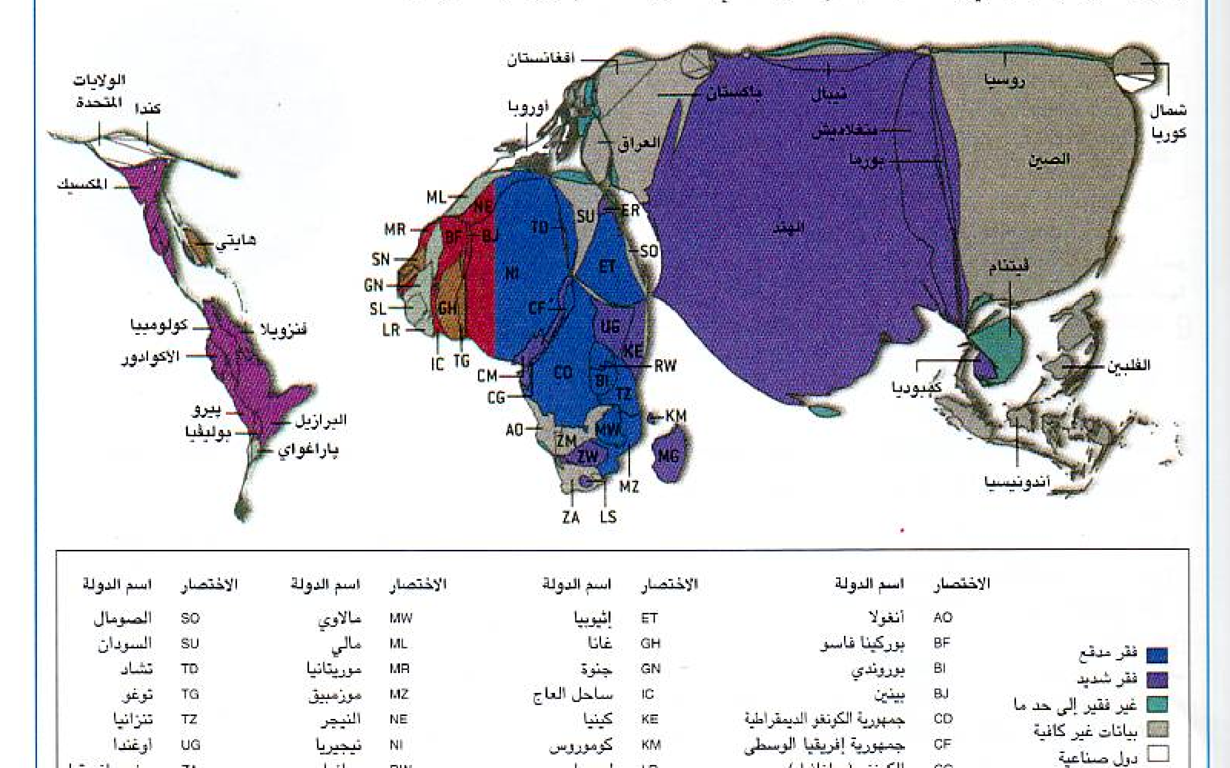


الطعام من أجل لاجئين صغار السن من إفريقيا.

(*) Crossroads For Poverty

الفقر المزمن: عالم غني، سكان فقراء(*)

مع أن السكان الذين يعانون الفقر المزمن يعيشون في كافة مناطق العالم، فهم يتمركزون في أمكنة محددة. ووفقا للعديد من الدراسات، فإن مواجهة مشكلة الفقر الشديد (هؤلاء الذي يعيشون على أقل من دولار في اليوم) تكون أقل في إفريقيا (الصحراء الجنوبية) والأندين ومرتفعات وسط أمريكا والدول المنعزلة جغرافيًا في وسط آسيا. توضح الخريطة في الأسفل - التي أعدها مركز أبحاث الفقر المزمن Chronic Poverty Research Center - مقاييس حجم الدولة إلى عدد الفقراء الذين يعيشون في حالة فقر مزمن، وتشير الألوان إلى مستوى دخل معظم السكان الذين يعيشون في حالة فقر في كل دولة. قام الباحثون بتقدير معدلات الفقر القومي وأعداده في حالة عدم توافر البيانات الرسمية.



الاختصار	اسم الدولة	الاختصار	اسم الدولة	الاختصار	اسم الدولة	الاختصار	اسم الدولة
AO	أنغولا	ET	إثيوبيا	MW	مالاوي	SO	الصومال
BF	بوركينا فاسو	GH	غانا	ML	مالي	SU	السودان
BI	بوروندي	GN	جنوة	MR	موريتانيا	TD	تشاد
BJ	بينين	IC	ساحل العاج	MZ	موزمبيق	TG	توغو
CD	جمهورية الكونغو الديمقراطية	KE	كينيا	NE	النيجر	TZ	تنزانيا
CF	جمهورية إفريقيا الوسطى	KM	كوموروس	NI	نيجيريا	UG	اوغندا
CG	الكونغو (برازافيل)	LR	ليبيريا	RW	رواندا	ZA	جنوب إفريقيا
CM	الكاميرون	LS	ليسوتو	SL	سيراليون	ZM	زامبيا
ER	أريتريا	MG	مدغشقر	SN	السنغال	ZW	زيمبابواي

مصيدة الفقر(**)

لذلك ماذا تخبرنا هذه الأفكار عن أكثر المناطق المصابة بالفقر اليوم، وهي إفريقيا؟ قبل خمسين عاما كانت المناطق المدارية في إفريقيا في نفس مستوى الغنى كالمناطق المدارية وتحت المدارية في آسيا. وفيما أخذت آسيا في النمو ظلت إفريقيا في حالة ركود. لقد أدت عوامل جغرافية خاصة دورا مهما في ذلك.

في المقام الأول، ومن بين تلك العوامل يؤدي وجود جبال الهيمالايا إلى مناخ موسمي وشبكة أنهار واسعة في جنوب آسيا. وقد مثلت الأراضي الزراعية المروية بشكل جيد نقطة البدء في نجاة دول آسيا من الفقر الشديد خلال العقود الخمسة الماضية. واستحدثت الثورة الزراعية في الستينات والتسعينات إدخال الحبوب العالية المحصول، ونُظُمًا أفضل للري والأسمدة التي أنهت حلقة الجوع والمرض واليأس. كذلك ساعدت النهضة الزراعية على تحرير نسبة كبيرة من القوى العاملة للبحث عن وظائف في القطاع الصناعي في المدن. والتحضر بدوره أدى إلى دفع النمو ليس فقط باحتضان الصناعة والابتكار، ولكن أيضا من خلال تشجيع استثمار أكبر في أسواق عمل تتصف بتوافر عمالة عالية المهارات. قام سكان المناطق الحضرية بتخفيض معدلات الخصوبة، ومن ثم تمكنوا من الإنفاق بشكل أكبر على الصحة والتغذية وتعليم كل طفل. لقد ذهب أطفال المدن إلى المدارس بمعدلات أعلى من أطفال المناطق الريفية. ومع توافر البنية التحتية ونظام الرعاية الصحية الآمنة، صار سكان المدن أقل عرضة للأمراض من نظرائهم في الريف، حيث لا يجد السكان مياه الشرب النقية وخدمات الصرف الصحي الحديثة والرعاية الصحية الجيدة والحماية من الأمراض المتوطنة مثل الملاريا.

لم تحدث ثورة زراعية في إفريقيا. إن إفريقيا المدارية تفتقد إلى السهول الضخمة الناتجة من الفيضانات التي تُسهل عملية الري

(*) Chronic Poverty: Rich World, Poor People
(**) The Poverty Trap

العولمة والفقر والمساعدات الخارجية(*)

يثير عدد من المواطنين في الدول المتقدمة العديد من التساؤلات عن تأثيرات العولمة الاقتصادية في الدول الغنية والفقيرة، وعن كيفية إنفاق الدول النامية للمساعدات التي تحصل عليها. ونقدم هنا بعض الإجابات المختصرة لهذه الأسئلة:



هل تؤدي العولمة إلى زيادة ثراء الأثرياء وزيادة فقر الفقراء؟

إن الإجابة عن هذا السؤال بصفة عامة هي لا. فقد دعمت العولمة الاقتصادية التقدمات السريعة جدا للعديد من الاقتصادات الفقيرة، بصفة خاصة في آسيا. فقد أدت تدفقات التجارة الدولية والاستثمارات الخارجية دورا أساسيا في النمو الاقتصادي اللافت للنظر في الصين خلال الربع قرن الماضي، وفي النمو الاقتصادي السريع للهند منذ أوائل التسعينات. ولم تتدهور أوضاع أفقر الفقراء، بصفة خاصة في إفريقيا (جنوب الصحراء)، نتيجة للعولمة، وإنما تجاهلتهم العولمة.

هل الفقر نتيجة استغلال الأغنياء للفقراء؟

قامت الدول الغنية بسلب الدول الفقيرة واستغلالها مرارا وتكرارا من خلال تجارة الرقيق ومبدأ الاستعمار وممارسات التجارة غير العادلة. ولكن يمكن القول بصورة أكثر دقة إن الاستغلال كان نتيجة للفقر (الذي جعل الدول الفقيرة أكثر عرضة للاستغلال) وليس سببا له. فالفقر بوجه عام هو نتيجة لانخفاض إنتاجية العامل الذي يعكس بدوره ضعف الصحة وانعدام المهارات في سوق العمل وضعف البنية التحتية (الطرق ومحطات الطاقة والمرافق العامة وموانئ الشحن) وسوء التغذية المزمن وما شابهها. لقد أدى الاستغلال دورا في خلق بعض هذه الأوضاع، إلا أن هناك عوامل أكثر عمقا كانت أكثر أهمية وصعوبة في التغلب عليها من دون مساعدة خارجية (مثل: العزلة الجغرافية والأمراض المستوطنة والدمار البيئي والظروف الصعبة لإنتاج الغذاء).

هل يعني ارتفاع مستويات الدخول في الدول الفقيرة انخفاضا لمستويات الدخول في الدول الغنية؟

إن عملية التنمية الاقتصادية عملية ذات أثر إيجابي، مما يعني أن الجميع يستطيعون المشاركة فيها من دون أن يتسبب ذلك في معاناة البعض. خلال الـ200 عام الماضية، تمكن العالم أجمع من تحقيق زيادة هائلة في الناتج الاقتصادي في إقليم معين من دون أن يترتب على ذلك انخفاض الناتج الاقتصادي في إقليم آخر. يمكن التأكيد أن القيود البيئية قد بدأت تفرض نفسها. عندما تتقدم الدول الفقيرة في وقتنا الحالي فإن المناخ ومصايد الأسماك والغابات سوف تتعرض للإجهاد بشكل متزايد. وبوجه عام، إن النمو الاقتصادي العالمي متوافق مع الإدارة المستمرة للنظم البيئية التي تعتمد عليها البشرية ككل - في الواقع يمكن أن تكون الثروة مفيدة للبيئة، ولكن فقط إذا قامت السياسة العامة والتقانات بتشجيع الممارسات السليمة وعمل الاستثمارات الضرورية لاستدامة البيئة.

هل أسهمت المساعدات الأمريكية الخاصة في تعويض المستويات المنخفضة للمساعدات الأمريكية الرسمية؟

يدعي البعض أنه فيما تقدم ميزانية حكومة الولايات المتحدة مساعدات أقل نسبيا للدول الأكثر فقرا، فإن القطاع الخاص قد ساعد على سد هذه الفجوة. في الحقيقة، قدرت **منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية** The Organization of Economic Cooperation and Development أن المنظمات الخاصة وغير الحكومية قد أسهمت بنحو 6 بلايين دولار سنويا في المساعدات الدولية، أي نحو 0.05% من إجمالي الناتج القومي للولايات المتحدة. وفي هذه الحالة، فإن المساعدات الدولية الأمريكية تمثل نحو 0.21% من إجمالي الناتج القومي - والتي مازالت تمثل أقل المعدلات بين كافة الدول المانحة. *-J.D.S.*

على نطاق واسع وبتكاليف منخفضة مثل تلك الموجودة في آسيا. كذلك تتغير مواعيد سقوط الأمطار بها بدرجة كبيرة ولم يستطع المزارعون الفقراء شراء الأسمدة. إن المحاصيل الناجمة عن أبحاث الثورة الخضراء، وبصفة خاصة الأرز والقمح، لا يتم زراعتها على نطاق واسع في إفريقيا (وفي السنوات الأخيرة، تم تطوير أنواع عالية المحصول تناسب إفريقيا، لكنها لم تنتشر على نطاق واسع بعد). لقد انخفض متوسط نصيب الفرد من إنتاج الغذاء في القارة، بحيث صار معدل ما يحصل عليه الفرد من السعرات في إفريقيا هو الأقل على مستوى العالم؛ لقد تفشت ظاهرة نقص الغذاء في القارة. وظلت قوة العمل مربوطة بما يسمى زراعة الكفاف المعيشي.

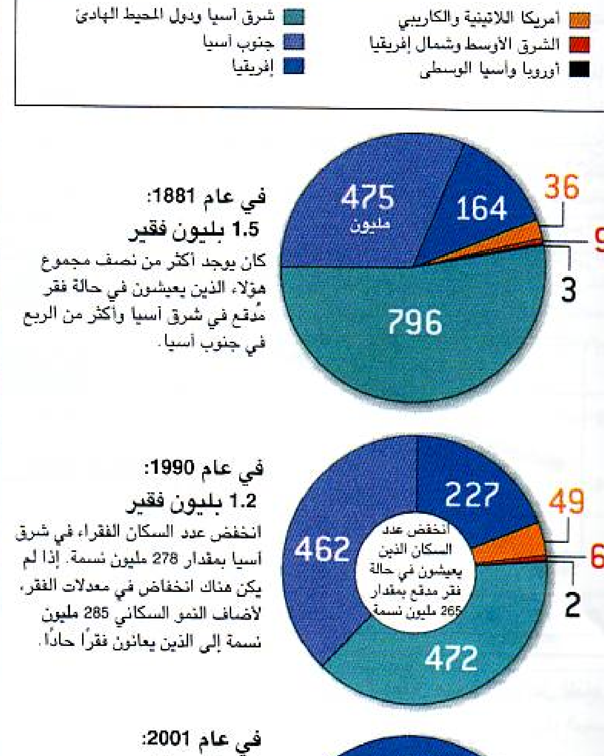
إضافة إلى ويلاتها الزراعية، تتحمل إفريقيا أعباء الأمراض المدارية. وبسبب طبيعة المناخ وسلالات البعوض المتوطنة، تنتقل الملاريا بكثافة في إفريقيا أكثر من أي مكان آخر. كذلك تعمل تكلفة النقل المرتفعة على عزل إفريقيا من الناحية الاقتصادية. على سبيل المثال، في شرق إفريقيا تصل الأمطار إلى أعلى مستوياتها داخل القارة ولذلك يعيش معظم الناس هناك، أي بعيدا عن الموانئ ومسارات التجارة الدولية.

وينطبق الحال نفسه على مناطق فقيرة أخرى في العالم، وبصفة خاصة في الأندين وهضاب أواسط أمريكا والمناطق الداخلية في وسط آسيا. وبسبب العزلة الاقتصادية لتلك الأقاليم، فإنها لا تتمكن من جذب استثمارات خارجية كافية (باستثناء تلك التي تأتي لاستخراج النفط والغاز والمعادن النفيسة). وغالبا ما يميل المستثمرون إلى الرجوع عن فكرة السفر إلى تلك الأقاليم بسبب ارتفاع تكاليف النقل في المناطق الداخلية. وبناء على ذلك، فإن المناطق الريفية تظل متعلقة في دورات شرسة من الفقر والجوع والمرض والأمية. إن هذه المناطق تفتقر إلى المدخرات الكافية لعمل الاستثمارات اللازمة، لأن معظم الأفراد يحصلون بالكاد على احتياجاتهم الأساسية. إن العدد القليل من الأسر ذات الدخل المرتفع (الذين تتوافر لديهم المدخرات) تقوم بتوجيه مدخراتها نحو الخارج بدلا من استثمارها في الداخل. مثل هذا التدفق الرأسمالي للخارج لا يشمل فقط الأصول الرأسمالية، وإنما أيضا رأس المال البشري في صورة تدفق العمالة الماهرة نحو الخارج، مثل: الأطباء والممرضين والعلماء والمهندسين، الذين غالبا ما يهاجرون بحثا عن فرص اقتصادية أفضل في الخارج. تُعتبر الدول الأفقر هي المصدر الصافي لرأس المال.

(*) Globalization, Poverty and Foreign Aid

الفقر المدقع: ما هو موقعنا(*)

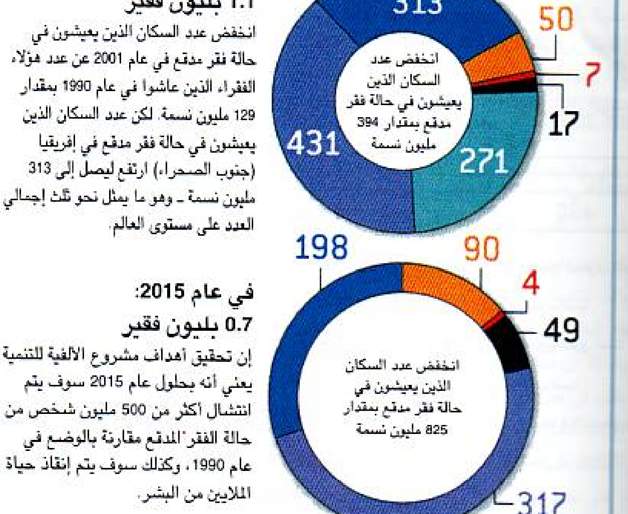
انخفض عدد الأشخاص الذين يعيشون في مستنقع الفقر منذ أوائل الثمانينات عندما أخذ الاقتصاد العالمي في النمو بشكل أكبر. لكن هذه المكاسب تركزت في دول شرق آسيا تاركة وراءها نحو بليون نسمة من سيئي الحظ في إفريقيا (جنوب الصحراء) ودول وسط آسيا والمناطق الجبلية في أمريكا الوسطى وإقليم الأنديز. إن إعطاء دفعة جادة لمساعدة السكان الذين يعانون التخلف خلال العقد القادم يمكن أن يساعد على تقليل مستويات الفقر إلى النصف. وتشير الأرقام في الأسفل إلى ملايين البشر.



في عام 1881:
1.5 بليون فقير
كان يوجد أكثر من نصف مجموع هؤلاء الذين يعيشون في حالة فقر مُدقع في شرق آسيا وأكثر من الربع في جنوب آسيا.

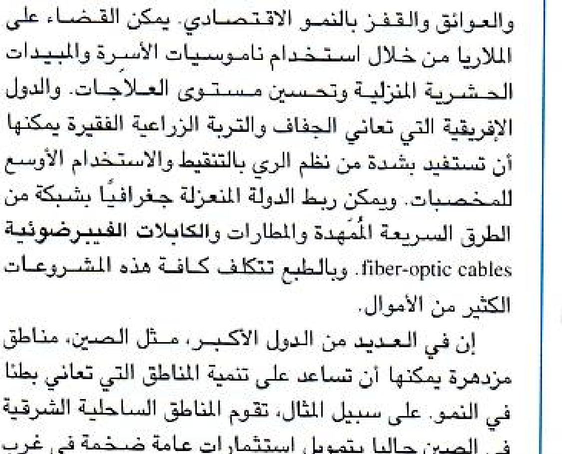
في عام 1990:
1.2 بليون فقير
انخفض عدد السكان الفقراء في شرق آسيا بمقدار 278 مليون نسمة. إذا لم يكن هناك انخفاض في معدلات الفقر، لأضاف النمو السكاني 285 مليون نسمة إلى الذين يعانون فقرًا حادًا.

في عام 2001:
1.1 بليون فقير
انخفض عدد السكان الذين يعيشون في حالة فقر مدقع في عام 2001 عن عدد هؤلاء الفقراء الذين عاشوا في عام 1990 بمقدار 129 مليون نسمة. لكن عدد السكان الذين يعيشون في حالة فقر مدقع في إفريقيا (جنوب الصحراء) ارتفع ليصل إلى 313 مليون نسمة - وهو ما يمثل نحو ثلث إجمالي العدد على مستوى العالم.



في عام 2015:
0.7 بليون فقير
إن تحقيق أهداف مشروع الألفية للتنمية يعني أنه بحلول عام 2015 سوف يتم انتشال أكثر من 500 مليون شخص من حالة الفقر المدقع مقارنة بالوضع في عام 1990، وكذلك سوف يتم إنقاذ حياة الملايين من البشر.

لنضع الأموال حيث توجد الأفواه(**)



توجد حاليا تقانة تستطيع التغلب على هذه العقبات والعوائق والقفز بالنمو الاقتصادي. يمكن القضاء على الملاريا من خلال استخدام ناموسيات الأسرة والمبيدات الحشرية المنزلية وتحسين مستوى العلاجات. والدول الإفريقية التي تعاني الجفاف والتربة الزراعية الفقيرة يمكنها أن تستفيد بشدة من نظم الري بالتنقيط والاستخدام الأوسع للمخصبات. ويمكن ربط الدولة المنعزلة جغرافيًا بشبكة من الطرق السريعة المُمهدة والمطارات و**الكابلات الفيبرضوئية** fiber-optic cables. وبالطبع تتكلف كافة هذه المشروعات الكثير من الأموال.

إن في العديد من الدول الأكبر، مثل الصين، مناطق مزدهرة يمكنها أن تساعد على تنمية المناطق التي تعاني بطئا في النمو. على سبيل المثال، تقوم المناطق الساحلية الشرقية في الصين حاليا بتمويل استثمارات عامة ضخمة في غرب الصين. إن معظم الدول النامية التي حققت نجاحا في وقتنا الحالي وبصفة خاصة الدول الصغيرة، قد تلقت على الأقل بعض الدعم الخارجي من متبرعين في الأوقات الحرجة. لقد قامت مؤسسة روكفلر بتمويل الابتكارات العلمية المهمة التي شكلت الثورة الزراعية، كما قامت الولايات المتحدة وحكومات مانحة أخرى ومؤسسات التنمية الدولية بتمويل تلك التقانة التي انتشرت في الهند وأمكنة أخرى في آسيا.

في مشروع الألفية بالأمم المتحدة قمنا بحصر الاستثمارات اللازمة لمساعدة المناطق الفقيرة في العالم في وقتنا الحالي على مواجهة احتياجاتها في مجالات الصحة والتعليم والمياه الصالحة للشرب والصرف الصحي وإنتاج الغذاء والطرق وغيرها من المجالات الأساسية. كما قمنا بحصر حجم تلك المساعدات وكذلك حجم التمويل الذي يمكن أن يتم من قِبل الأفراد في المناطق الفقيرة والمؤسسات المحلية بها. الفرق في التكاليف هو فجوة التمويل التي يجب أن يتولى المانحون الدوليون مهمة سدها.

بالنسبة إلى المناطق المدارية في إفريقيا، يبلغ إجمالي الاستثمار نحو 110 دولارات للفرد الواحد في السنة. لتوضيح ذلك، متوسط دخل الفرد في هذا الجزء من العالم يساوي 350 دولارا في السنة، يحتاج الفرد إلى معظم أو جميع هذا المبلغ فقط لكي يبقى على قيد الحياة. من الواضح أن التكلفة الكلية لإجمالي الاستثمارات تتجاوز إمكانات تلك الدول. من بين الـ110 دولارات المطلوبة، يمكن تمويل 40 دولارا محليا؛ لذلك، يتم طلب الـ70 دولارا المتبقية للفرد من دول مانحة على هيئة معونات دولية.

بجمع كل ذلك، فإن إجمالي متطلبات المساعدة عبر العالم يصل إلى نحو 160 بليون دولار سنويا، أي نحو ضعف ميزانية المساعدات التي تقدمها الدول الغنية والتي تصل حاليا إلى 80 بليون دولار. يمثل هذا المبلغ 0.5% تقريبا من

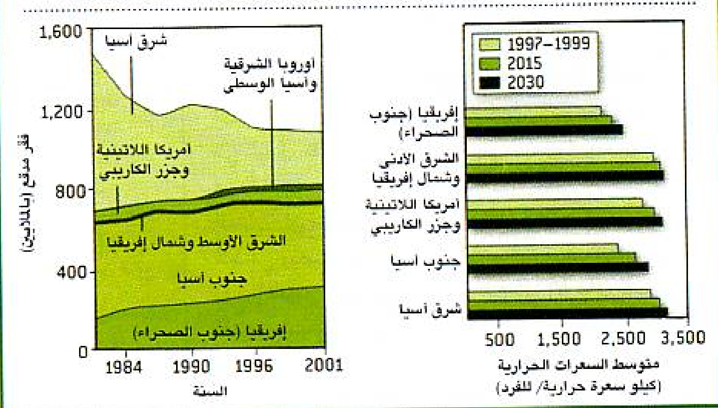
(*) Extreme Poverty: Where We Stand
(**) Put Money Where Mouths Are

في قمة الألفية للأمم المتحدة عام 2000، وعدت دول العالم بالقيام بالاستثمارات اللازمة لمساعدة المناطق الفقيرة في العالم وتحسين أوضاع الرفاهية لمواطنيها في المجالات الأساسية بما في ذلك الصحة والتعليم وتوفير المياه النقية والصرف الصحي وإنتاج الغذاء. وقد قامت الأمم المتحدة بصياغة ثمانية أهداف أساسية لمشروع الألفية للتنمية لتخفيض مستويات الفقر المدقع بصـ[...] جوهرية في جميع أنحاء العالم بحلول عام 2015. تشير البيانات في هـ[...] الصفحتين إلى التحديات التي تواجه هذه الأهداف. وتعتمد مقاييس التـ[...] على المستويات الإحصائية المُتاحة في عام 1990.

الهدف الأول: القضاء على الفقر المدقع والجوع

الغاية: تخفيض نسبة الأشخاص الذين يعيشون على أقل من دولار واحد في اليوم ونسبة الذين يعانون الجوع المزمن إلى النصف.

الوضع الحالي: فيما بين عامي 1990 و 2001، ظلت ثابتةً نسبةُ الأشخاص في إفريقيا (جنوب الصحراء) وأمريكا اللاتينية والكاريبي الذين يعيشون في حالة فقر مدقع، وأخذت في الزيادة على نحو مُقلق في وسط آسيا. وعلى الرغم من تزايد استهلاك الغذاء، فمازال الجوع منتشرا في العديد من أقاليم العالم.

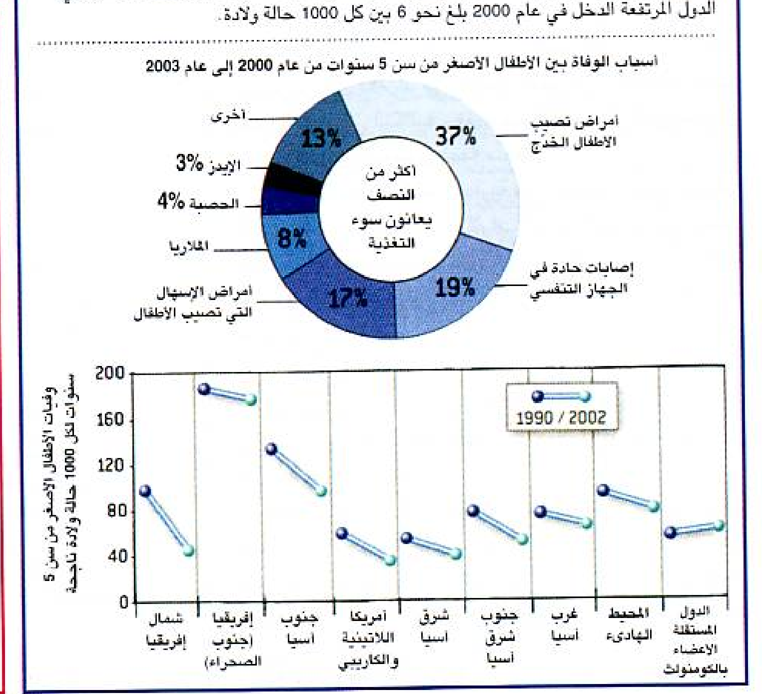




الهدف الرابع: تقليل معدل الوفيات بين الأطفال

الغاية: تقليل معدل الوفيات بين الأطفال أقل من خمس سنوات إلى الثلثين (2/3).

الوضع الحالي: انخفضت معدلات الوفيات بين الأطفال في كافة أنحاء العالم باستثناء جمهوريات الاتحاد السوفييتي السابق في الدول المستقلة الأعضاء بالكومنولث، لكن المعدلات ظلت مرتفعة في إفريقيا (جنوب الصحراء) وجنوب آسيا. مقارنة بذلك، فإن معدل وفيات الأطفال في الدول المرتفعة الدخل في عام 2000 بلغ نحو 6 بين كل 1000 حالة ولادة.



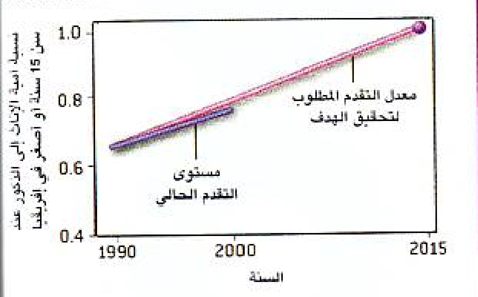
الهدف الثاني: توفير التعليم الابتدائي للجميع

الغاية: ضمان أن يحصل جميع الأطفال على دورة دراسية كاملـ[...] في مرحلة التعليم الابتدائي بحلول عام 2015.

الهدف الثالث: تحقيق المساواة بين الجنسين وتقوية مركز المرأة

الغاية: القضاء على التمييز بين الجنسين في التعليم الابتدائي، الثانوي والجامعي بحلول عام 2015.

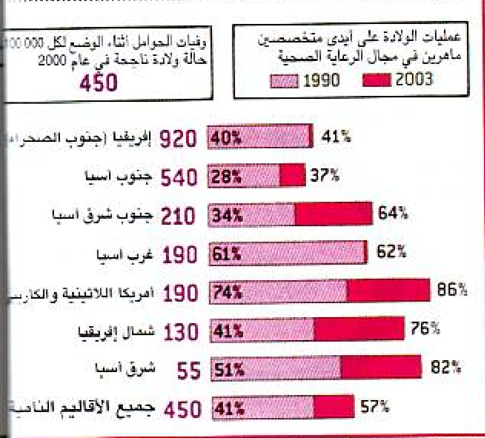
الوضع الحالي: إن التعليم هو أفضل وسيلة لتشجيع المساواة بين الرجل والمرأة. تتمثل أهم التحديات في إفريقيا (جنوب الصحراء)، حيث يراوح إجمالي معدلات إنهاء الدراسة حول 50%. وفيما نجد أن وضع النساء والبنات صار أسوأ، كما يتضـ[...] في *الشكل أدناه* من النسبة بين معدل أمية الإناث إلى الذكور في القارة الإفريقية.



الهدف الخامس: تحسين صحة الحوامل أثناء الوضع

الغاية: تخفيض معدل الوفيات بين الحوامل أثناء الوضع بمقدار 75% بحلول عام 2015.

الوضع الحالي: ظلت معدلات الوفيات بين الحوامل أثناء الوضع مرتفعة بشكل كبير في جميع المناطق النامية في العالم؛ ومن ثم فإن زيادة نسبة عمليات الولادة على أيدي متخصصين ماهرين في مجال الصحة تُعد أمرا حيويا لتخفيض معدلات الوفيات بين الحوامل أثناء الوضع.



(*) The Millennium Development Goals: How Are We Doing?

الهدف السادس: مكافحة مرض نقص المناعة/الايدز، الملاريا وغيرهما من الأمراض

الغايات: الحد من مرض نقص المناعة/الايدز وتقليل انتشاره، تقليل من سرعة انتشار الملاريا وغيرها من الأمراض.

الوضع الحالي: إن مرض نقص المناعة الذي يصيب نحو 40 مليون شخص في وقتنا الحالي ينتشر على نطاق واسع في أجزاء من إفريقيا (جنوب الصحراء) ويشكل تهديدا خطيرا بالنسبة إلى المناطق النامية الأخرى في العالم. من ناحية أخرى، تقتل الملاريا ثلاثة ملايين شخص كل سنة معظمهم من الأطفال والغالبية العظمى منهم في إفريقيا. في السنوات الأخيرة، اتسعت دائرة توزيع ناموسيات (للحماية من البعوض) mosquito nets بشكل كبير، لكن مازال هناك مئات الملايين من الأشخاص الذين يعيشون في المناطق المصابة بالملاريا بحاجة إلى ناموسيات.

ناموسيات للحماية من البعوض تم بيعها أو توزيعها في إفريقيا (جنوب الصحراء)

شرق إفريقيا
غرب إفريقيا
جنوب إفريقيا
وسط إفريقيا

السنة: 1999 2000 2001 2002 2003

نسبة البالغين المصابين بالفيروس المسبب لمرض نقص المناعة وتراوح أعمارهم بين 15 و 49 سنة

العدد السنوي للوفيات بسبب الإيدز (بالملايين)

نسبة البالغين المصابين بفيروس نقص المناعة (HIV)
الوفيات بسبب الإيدز

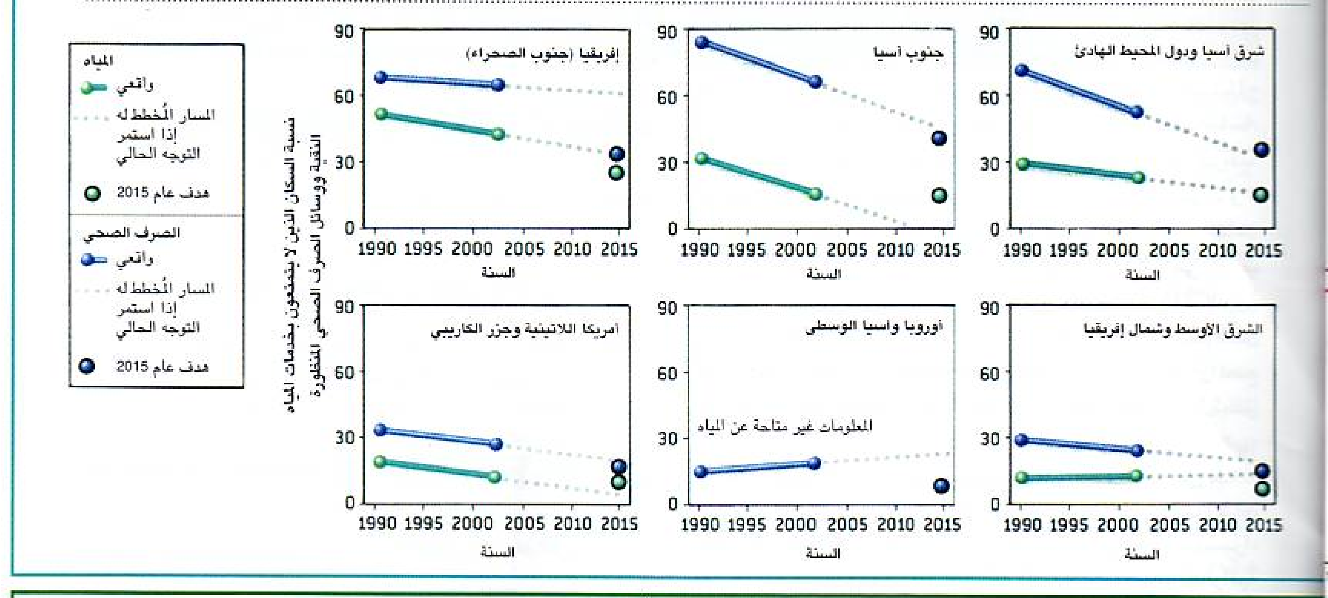
الفيروس المسبب لمرض نقص المناعة في إفريقيا (جنوب الصحراء)
وفيات الإيدز في إفريقيا (جنوب الصحراء)
الفيروس المسبب لمرض نقص المناعة في الأقاليم النامية

السنة: 1990 1994 1998 2002

الهدف السابع: الحفاظ على استمرارية البيئة

الغاية: خفض نسبة الأشخاص الذين لا يحصلون على احتياجاتهم الكافية من المياه العذبة والصرف الصحي الأساسي إلى النصف بحلول عام 2015.

الوضع الحالي: باستثناء إفريقيا (جنوب الصحراء)، فإن إمكانية الحصول على مياه الشرب العذبة في المناطق الحضرية تُعَد مرتفعة بشكل عام مع أن هذه الإمكانية مازالت محدودة في المناطق الريفية. ومن ناحية أخرى، إن نقص خدمات الصرف الصحي في إفريقيا (جنوب الصحراء) وجنوب آسيا يسهم في نشر مرض الإسهال على نطاق واسع.



الهدف الثامن: تطوير المشاركة الدولية من أجل التنمية

الغاية: الاهتمام بالاحتياجات الخاصة للدول الأقل تقدما (بما في ذلك زيادة سخية لمساعدات التنمية).

الوضع الحالي: تعهدت الدول الغنية مرارا بتقديم 0.7% من دخلها القومي كمساعدات خارجية، إلا أن هناك 17 دولة من بين 22 دولة مانحة قد فشلت في تحقيق هذا الهدف. لكن حدث تقدم في هذا الجانب، حيث تعهدت دول الاتحاد الأوروبي بأنها سوف تلتزم بتحقيق نسبة 0.7% بحلول عام 2015. من ناحية أخرى، ادعت بعض الدول المانحة الأخرى أن الدول الفقيرة ينتشر فيها الفساد، ما يعوق تحقيق النمو الاقتصادي بها. ويساعد الجدول في اليسار على نفي تلك الادعاءات. وفي الواقع، إن اقتصادات آسيا السريعة النمو فيها مستويات من الفساد المُلاحظ أعلى من تلك الموجودة في دول إفريقية بطيئة النمو.

الفساد والنمو الاقتصادي

		ترتيب مستويات الفساد المُلاحظ (كلما انخفض الرقم قل الفساد)	متوسط النمو السنوي للفرد من مجمل الإنتاج المحلي (1990 - 2000)
إفريقيا (جنوب الصحراء)	غانا	70	0.3
	السنغال	76	0.5
	مالي	78	-0.5
	مالاوي	83	0.2
شرق آسيا	الهند	83	3.5
	باكستان	92	2.4
	إندونيسيا	122	3.5
	بنغلاديش	133	2.0

إجمالي الناتج القومي المُتجمع من الدول الغنية المانحة. لا يشمل هذا المبلغ مشروعات إنسانية أخرى مثل إعادة إعمار العراق بعد الحرب أو مساعدات كارثة المحيط الهندي (التسونامي). لتلبية مثل هذه الاحتياجات أيضا، يجب أن يصل الرقم المناسب إلى 0.7% من إجمالي الناتج القومي والذي يمثل النسبة التي تعهدت الدول المانحة بها ولم يتم الوفاء بها إلا من عدد قليل من الدول. وقد توصلت مؤسسات أخرى تشمل صندوق النقد الدولي والبنك الدولي والحكومة البريطانية إلى الاستنتاج نفسه.

نعتقد أن هذه الاستثمارات سوف تُمكن أفقر الدول من خفض مستويات الفقر إلى النصف بحلول عام 2015 ومن القضاء على الفقر نهائيا بحلول عام 2025 إذا استمرت تلك الاستثمارات. لا تُمثل تلك الاستثمارات «منح رفاهية» من قبل الدول الغنية إلى الدول الفقيرة، ولكنها تُمثل شيئا أكثر أهمية واستمرارية. وبالنسبة إلى الأفراد الذين يعيشون بالكاد فوق مستويات الكفاف المعيشي، فإنهم سوف يتمكنون من الادخار لمستقبلهم؛ وسوف يتمكنون من الالتحاق بالدورة المفضلة لهم التي تعمل على زيادة الدخول وزيادة المدخرات وتدفقات التقانة؛ ومن ثم سوف نتوقف عن تقديم يد المساعدة لبليون نسمة من سكان العالم.

إذا ما فشلت الدول الغنية بالقيام بهذه الاستثمارات، فسيجري استدعاؤها لتقديم المساعدات الطارئة لفترات غير محدودة. سوف تواجه تلك الدول المجاعات والأوبئة والصراعات الإقليمية وانتشار ملاجئ الإرهاب. وسوف يُحكم ليس على الدول الفقيرة فقط وإنما على الدول الغنية كذلك بحالات مزمنة من عدم الاستقرار السياسي وطوارئ إنسانية ومخاطر أمنية.



الأطفال الجوعى في السودان.

عندما يتم استطلاع آراء الأمريكيين حول حجم المساعدات الخارجية التي تقدمها الولايات المتحدة، فإنهم يغالون كثيرا في تقديراتهم - ربما بنحو 30 ضعفا أكثر من الواقع.

يتحول الجدل الحالي من التشخيص الأساسي للفقر المدقع وحساب الاحتياجات التمويلية إلى الأمور التطبيقية حول كيفية تقديم المساعدات بطريقة أفضل. يعتقد الكثير من الناس أن جهود المساعدات قد فشلت في الماضي ويلزم الاهتمام لتلافي تكرار الفشل. بعض أوجه القلق تلك لها أساس من الواقع، لكن البعض الآخر قائم على الكثير من سوء التفاهم.

عندما يشرع القائمون على إجراء عمليات استطلاع الرأي بسؤال الأمريكيين عن حجم المساعدات الخارجية التي تقدمها الولايات المتحدة، فإن الأمريكيين يغالون بشدة في تقديراتهم - ربما بنحو 30 ضعفا أكثر من الواقع. اعتقاد العامة بأنه قد تم منح مقدار كبير من المال للخارج وأن ما تم العمل به هو مقدار قليل يدفعهم إلى الاستنتاج بأن تلك البرامج قد فشلت. والحقيقة مختلفة عن ذلك تماما، فالمساعدات الرسمية التي تقدمها الولايات المتحدة لدول إفريقيا (**جنوب الصحراء الكبرى** Sub-Saharan Africa) تراوح بين 2 و 4 بلايين دولار سنويا أو بين 3 و 6 دولارات لكل فرد إفريقي. جاءت معظم هذه المساعدات على هيئة مساعدات فنية (تذهب إلى جيوب الاستشاريين) ومساعدات غذائية لضحايا المجاعات وإلغاء الديون غير المُسددة. وجاء القليل منها على هيئة استثمارات في نظم تعمل على تحسين الصحة والتغذية وإنتاج الغذاء والنقل. يجب أن نمنح المساعدات الخارجية فرصة عادلة قبل أن نحكم عليها بأنها تحقق أهدافها أو لا.

هناك سوء فهم آخر شائع يتعلق بالمدى الذي يمكن من خلاله أن يلتهم الفساد الأموال الممنوحة. صحيح إن جانبا من المساعدات الخارجية في الماضي قد تحول إلى حسابات في بنوك سويسرا، وقد حدث ذلك عندما كان يتم منح تلك المساعدات لأسباب **جغرافية سياسية** geopolitical وليس لأغراض التنمية. ولعل أحد الأمثلة الجيدة على ذلك هو دعم الولايات المتحدة لنظام «موبوتو سيسي سيكو» الفاسد بزائير (جمهورية الكونغو الديمقراطية حاليا) خلال فترة من فترات الحرب الباردة. لكن عندما تم توجيه المساعدات نحو التنمية بدلا من الأهداف السياسية، كانت النتائج مثمرة وراوحت بين الثورة الزراعية والقضاء على الجدري والقضاء شبه الكامل على شلل الأطفال في وقتنا الحالي.

سوف يتم توجيه حزمة المعونات التي نقترحها نحو تلك الدول التي تتمتع بدرجة معقولة من الحكم الجيد والشفافية العملية. ومن بين تلك الدول في إفريقيا: إثيوبيا وغانا ومالي وموزمبيق والسنغال

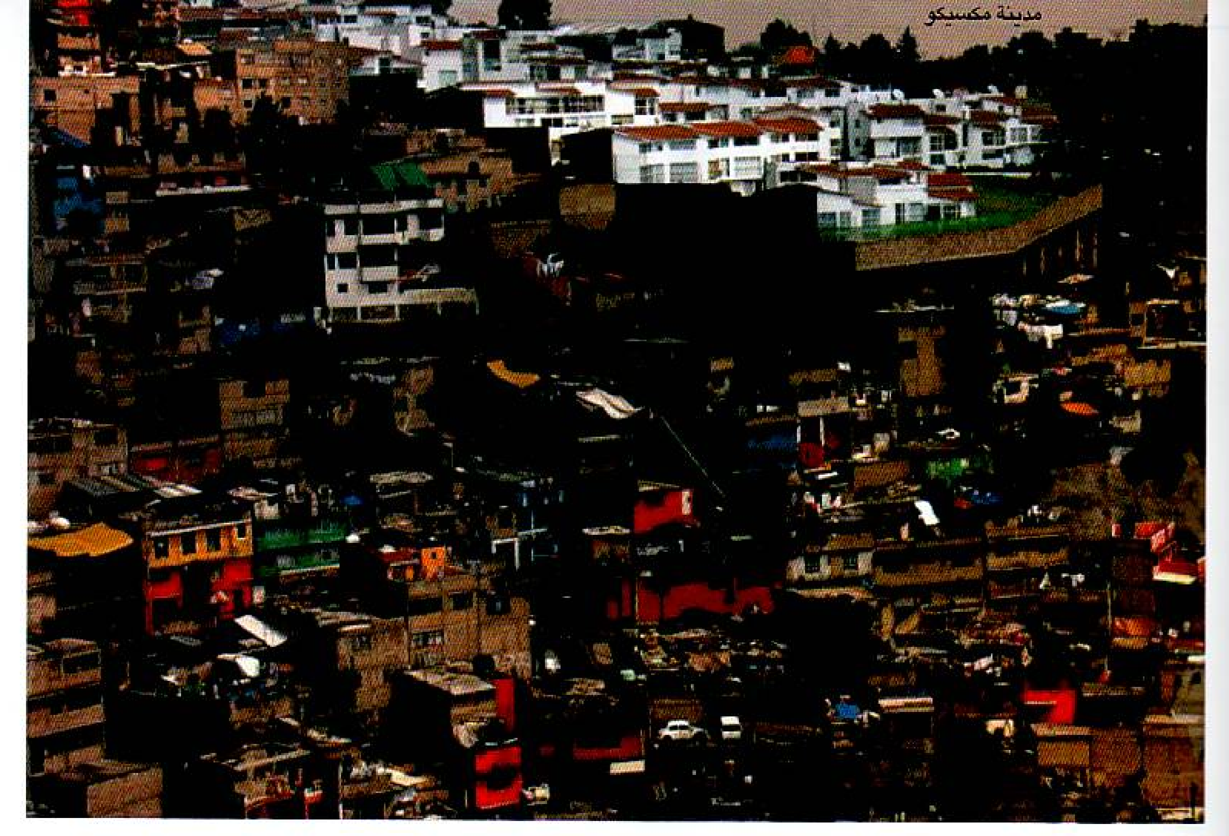
المعونة الخارجية: كيف يجب أن تُنفق الأموال؟(*)

يوضح الجدول تفاصيل الاستثمارات المطلوبة لثلاث دول متماثلة ذات دخل منخفض في إفريقيا لمساعدتها على تحقيق أهداف مشروع الألفية للتنمية. بالنسبة إلى كافة الدول التي يتم منحها مساعدات، يصل متوسط المساعدة السنوية إلى نحو 110 دولارات للفرد سنويًا. ويمكن تمويل هذه الاستثمارات من خلال المساعدات الخارجية وكذلك من خلال الدول نفسها.

مجال الاستثمار	المتوسط السنوي بين عامي 2005 و 2015 (دولار للفرد)		
	غانا	تنزانيا	أوغندا
الجوع	7	8	6
التعليم	19	14	15
المساواة بين الجنسين	3	3	3
الصحة	25	35	34
إمدادات المياه والصرف الصحي	8	7	5
تحسين ظروف الأحياء الفقيرة	2	3	2
الطاقة	15	16	12
الطرق	10	22	20
أخرى	10	10	10
الإجمالي	100	177	106

تم حسابها من بيانات الاستثمار في التنمية (مشروع الأمم المتحدة للألفية Earthscan publications, 2005). لا تشير الأرقام إلى المجموع الإجمالي بدقة، نظرا لعملية التقريب.

(*) Foreign Aid: How Should The Money Be Spent?



«الرجل الغني في القمة والرجل الفقير في القاع» يصف حالة المجتمع الإنساني منذ فجر الحضارة، لكن إدراك أن جميع البشر على هذا الكوكب بينهم اعتماد متبادل بشكل جوهري يعني أنه لا يمكن ترك أي شخص من دون مساعدة ولا حتى الأشخاص الأكثر فقرا فيما بيننا وذلك لصالح مستقبلنا.

وتنزانيا. ولن يتم دفع الأموال إلى تلك الدول فحسب ولكن سوف يتم توجيهها وفقا لخطة تفصيلية ومُراقبة، وسوف يتم تقديم دورات جديدة من التمويل فقط عندما يتم البدء بتنفيذ تلك الخطط فعليا. وسوف يتم تقديم الكثير من هذه الأموال مباشرة إلى القرى والمدن لتقليل فرص احتمال تحويلها إلى أمكنة أخرى بوساطة الحكومات المركزية. يجب أن تتم مراجعة جميع هذه البرامج عن قرب.

ويميل المجتمع الغربي إلى الاعتقاد بأن تقديم المساعدة الخارجية عبارة عن أموال مفقودة. لكن إذا تم تقديمها على نحو ملائم، فإنها سوف تتحول إلى استثمار يعود ذات يوم بعوائد ضخمة؛ مثلما حصل نتيجة للمساعدات التي قدمتها الولايات المتحدة إلى أوروبا الغربية وشرق آسيا بعد الحرب العالمية الثانية. إن حدوث ازدهار في الدول الفقيرة حاليًا سوف يساعد على قطع اعتماد تلك الدول اللانهائي على أعمال الخير. وسوف تُساهم تلك الدول في التقدم الدولي في العلوم والتقانة والتجارة. سوف يعمل الازدهار على حماية تلك الدول من عدم الاستقرار السياسي ـ الذي يُعرض الكثير من هذه الدول للعنف وتجارة المخدرات والحروب الأهلية وتفشي الإرهاب. كما سيؤدي الازدهار إلى دعم أمننا. وكونه أمينا عاما للأمم المتحدة، كتب ‹كوفي عنان› في بداية عام 2005: «ليس هناك تنمية من دون أمن، ولا أمن من دون تنمية.» ■

المؤلف

Jeffrey D. Sachs

يقوم ساش بإدارة معهد الأرض في جامعة كولومبيا ومشروع الألفية للأمم المتحدة The United Nations Millennium Project. يشتهر ساش كاقتصادي بتقديمه الاستشارات لحكومات دول، مثل: أمريكا اللاتينية وأوروبا الشرقية والاتحاد السوفييتي السابق وآسيا وإفريقيا في مجالات الإصلاح الاقتصادي. وكذلك يشتهر بعمله مع المؤسسات الدولية لتخفيض مستويات الفقر والسيطرة على الأمراض وتخفيض مديونية الدول الفقيرة. إنه من سكان ديترويت وحصل على البكالوريوس والماجستير والدكتوراه من جامعة هارڤرد.

مراجع للاستزادة

Institutions Matter, but Not for Everything. Jeffrey D. Sachs in *Finance and Development (IMF)*, Vol. 40, No. 2, pages 38–41; June 2003. **www.sachs.earth.columbia.edu**

Determinants of Long-Term Growth: A Bayesian Averaging of Classical Estimates (BACE) Approach. X. Sala-i-Martin, Gernot Doppelhofer and Ronald I. Miller in *American Economic Review*. Vol. 94, No. 4, pages 813–835; September 2004.

Ending Africa's Poverty Trap. J.D.Sachs, J. W. McArthur, G. Schmidt-Traub, M. Kruk, C. Bahadur, M. Faye and G. McCord in *Brookings Papers on Economic Activity*, Vol. 1:2004, pages 117-216. **www.sachs.earth.columbia.edu**

The Development Challenge. J.D. Sachs in Foreign *Affairs*, Vol. 84, No. 2, pages 78-90; March/April 2005. **www.sachs.earth.columbia.edu**

The End of Poverty: Economic Possibilities for Our Time. J. D. Sachs. Penguin Press, 2005. **www.earth.columbia.edu/endofpoverty**

Investing in Development: A Practical Plan to Achieve the Millennium Development Goals. United Nations Millennium Project, 2005. **www.unmillenniumproject.org**

تعزيز تنوع الحياة(*)

إن فهما جديدا لكيفية انقراض بعض الأنواع قد يساعدنا على اكتشاف أفضل السبل للحفاظ عليها بتكاليف لن تكون باهظة.

<S. L.> پيم ـ <C.> جينكنز

على طريق مملوء بالنفايات، نقف تحت زخات مطر دافئ نتأمل أحد مراعي القطعان الخضراء. وهو عبارة عن فجوة بين جانبي غابة يبلغ طوله كيلومترا واحدا وعرضه مئة متر. وفي هذا المكان الذي يبعد بضع ساعات بالسيارة عن مدينة ريودو جانيرو، سيتخذ جيلنا قرارات تحدد فيما إذا كان بإمكاننا تعزيز التنوع الحالي للحياة على الكرة الأرضية، وهو ما يمكن أن نسميه **التنوع الأحيائي** biodiversity. لقد كان يوما في البرازيل ما يزيد على مليون كيلومتر مربع من الغابات الساحلية وفي العشرة في المئة من أنواع الحياة المتبقية تعرض أكثر الأنواع عددا في الأمريكتين إلى خطر الانقراض.

وحينما نقول «إننا» نقف تحت المطر المنهمر، فنحن نعني كلينا إضافة إلى زميلة برازيلية تدعى <M. A.> ألفز [وهي عالمة بيئة من جامعة ريودو جانيرو الحكومية]. ويوجد معنا أيضا صاحب المرعى الذي قام بقطع أشجار الغابة لتربية قطيعه، ظانا أن هذه هي أفضل وسيلة لكسب المال. كما يصحبنا ممثل عن إحدى المنظمات غير الحكومية (NGO) المحلية التي تسعى إلى المحافظة على الغابة. ويمكننا نحن العلماء أن نقنع الرأي العام العالمي بدعم هذا الجهد، لكن البرازيليين الثلاثة، الذين يمثلون الملايين من أبناء بلدهم، هم من يملكون اتخاذ القرار فيما يتعلق بتحديد أولويات بلادهم بين رعي قطعان الماشية وإدارة شؤون البيئة.

في هذا المرعى وعبر اليابسة والمحيطات يقل توازن الحياة على الكرة الأرضية بشكل مستمر لا رجعة فيه (غير عكوس). وليس هناك من قوة تستطيع أن تعيد الأنواع المنقرضة إلى الحياة مرة أخرى، ذلك أننا لا نعيش في **حديقة جوراسية** Jurassic Park. وفي مناطق أخرى صار الوقت متأخرا جدا لعمل أي شيء في هذا المضمار. ففي مرتفعات هاواي كنّا نرتعش تحت المطر البارد وعبثا نبحث عن طيور لها أسماء غريبة ومناقير أكثر غرابة: ذلك أن طيور «*أكيالو*» و«*أويو*» و«نوكوپوپو»[1] كان يراها الناس قبل عقود من الزمن. أما طيور *پو أولي*[2] فيبدو أنها قد اختفت أثناء كتابة هذه المقالة. ولا يحتاج المرء إلى زيارة الأمكنة النائية ليلحظ التغيرات، إذ يكفي أن نستعرض الأسماك عند بائعيها لنلحظ اختفاء الكثير من الأنواع. فالسمكة التي كانت تبيع **السمك البرتقالي** orange roughy في بداية الثمانينات من القرن العشرين، انهارت خلال ذات العقد. لقد تسببت عمليات الصيد الجائر في اختفاء هائل لمعظم أنواع السمك الرئيسية في سائر أنحاء المعمورة.

وقد تتساءل.. «أليس الفناء ظاهرة طبيعية؟» ونجيب «بالتأكيد!» فمعظم الأنواع تتعرض يوما للانقراض، ولا يثير هذا النوع من الفناء القلق ما دام يحدث بمعدلات طبيعية؛ ذلك أن **الأحافير** fossils والآثار الجزيئية للأنسال **(الذريات)** **التطورية** evolutionary lineages تُظْهِر أن الأنواع تولد وتنقرض على مدار فترة زمنية تمتد مليون عام. (باستثناء تلك الأحداث الخمسة للانقراض الجماعي، التي تسببت باختفاء الدينوصورات و**ثلاثيات الفصوص** trilobites وأنواع عديدة أخرى). وفي هذا السياق يكمن تناظر مؤداه أننا نحن البشر نعيش 75 عاما أو ما يقاربها. وفي عينة من 75 شخصا نتوقع موت واحد منهم كل عام، وفي عينة من سبعة أشخاص يموت واحد كل عقد من الزمن. وإذا افترضنا أن الفترة الزمنية التي يعيشها أحد الأنواع تمتد إلى مليون عام، فإننا نتوقع أن يفنى واحد من كل مليون بشكل طبيعي كل عام. وعلى هذا الأساس، فإن من بين عشرة آلاف نوع من الطيور المعروفة، ينقرض أحدها كل قرن من الزمان. ولكن المعدل الحقيقي لانقراض هذه الأنواع من الطيور هو واحد كل عام، وهو معدل غير طبيعي ويبلغ مئة ضعف معدل الفناء الطبيعي.

ويتشابه انقراض جميع أنواع الحيوانات والنباتات المعروفة في كونه غير طبيعي. إضافة إلى أن هذه الأنواع تتشابه في مَعْلَم آخر، وهو أن انقراضها يتم بسبب ممارسات الإنسان، بما في ذلك الصيد وإدخال أنواع غريبة (مثل الفئران والنباتات العشبية الضارة)، إضافة إلى تدمير مواطن الأنواع. وهناك تهديدات أخرى قادمة، تتمثل في **الاحتباس الحراري** global warming الذي يمثل خطرا على التنوع الأحيائي ربما يكون مساويا ـ ومضافا إلى ـ فقدان الموطن[3].

ولأسباب سنوضحها لاحقا، فإن بعض الأنواع أقل حصانة[4] من غيرها ومتمركزة جغرافيا. وتزداد معدلات الانقراض غير الطبيعية، حينما تصطدم الأنشطة البشرية بهذه التمركزات. وهذا ما يدفعنا للحضور إلى مرعى للمواشي في البرازيل أو إلى غابة غائمة بهاواي وليس إلى حقل ذرة بولاية أيوا. ومن أجل الحفاظ على تنوع الحياة، لا بد للمرء أن يتعامل مع أمكنة مختارة، وهذا ما يتيح فرصا

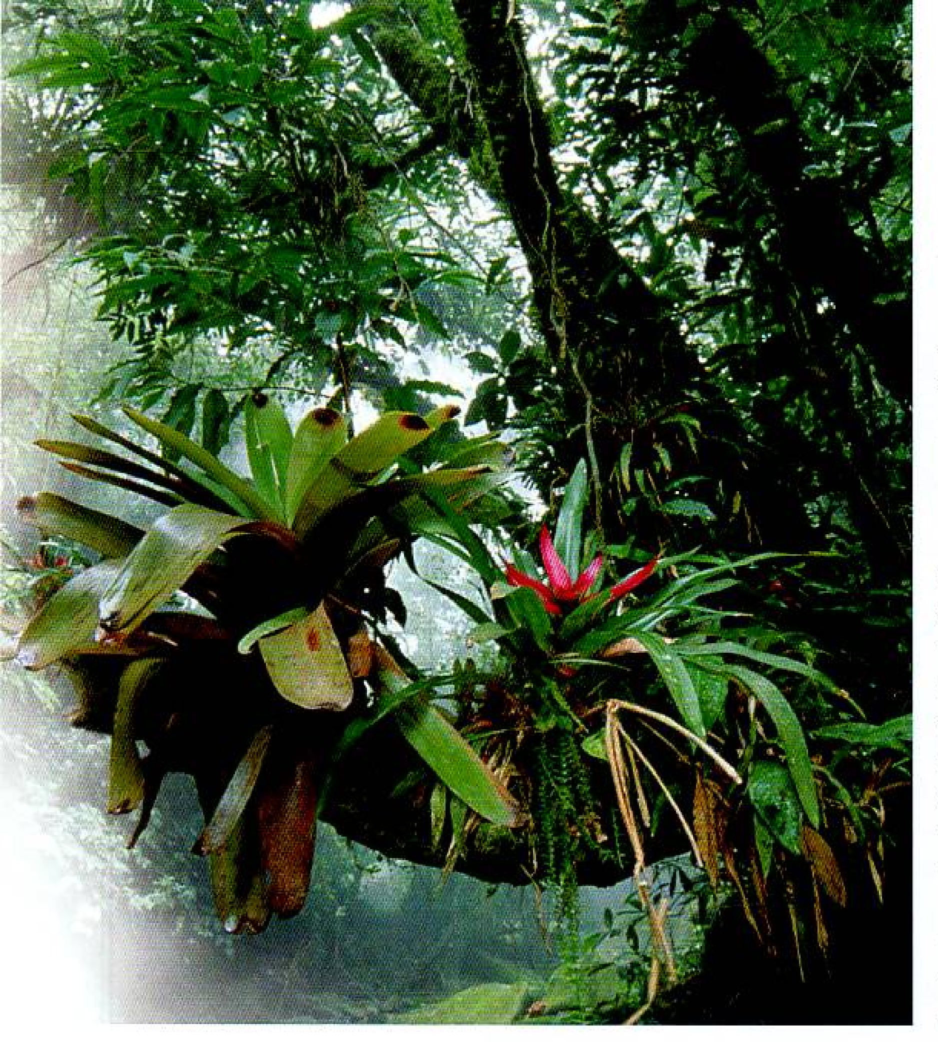
(*) SUSTAINING THE VARIETY OF LIFE

(1) akialoa، ou، nukupu'u

(2) Po'ouli

(3) habitat loss

(4) vulnerable غير حصين أو عطوب.



إن الحفاظ على نحو دزينتين من المواقع التي تحددت على أسس علمية، مثل هذه الغابة الساحلية المطيرة قرب مدينة ريودو جانيرو في البرازيل، سيكون بداية طريق طويل في اتجاه الحفاظ على التنوع الأحيائي على الكرة الأرضية.

ومشكلات في آن واحد. ومن بين هذه المشكلات أن مثل هذه الأمكنة المختارة تقع في الغالب في البلدان النامية عبر المناطق الاستوائية في العالم.

وقد نتساءل «ألم يؤد استخدامنا لمصادرنا الطبيعية إلى تطورنا؟» وهذا يعني بداهة أن البشرية يمكن أن تكون أحسن حالا على الرغم من فقدان بعض الأنواع، وربما بسبب ذلك. ولنا أن نتساءل أيضا «من نحن حتى نسمح لأنفسنا بإعاقة تقدم الدول الفقيرة؟» وفي معظم الأحيان فإن الدول المتقدمة لا تحقق فائدة من إتلاف مصادرها الذاتية. وفي الغالب لا يعي أغنياء العالم مقدار الضرائب الهائلة التي يجب عليهم تسديدها للإقلال من الأنشطة المدمرة للبيئة. فنحن نخسر كلا من الطبيعة والمال في ذات الوقت. وحتى فقراء العالم لا يستفيدون في الغالب من تخريب بيئتهم؛ فهم على سبيل المثال، يحصلون على نسبة عالية من حاجتهم إلى البروتين من الأسماك، ولا يمكنهم في ذلك الاعتماد على السمك المستورد من بلاد بعيدة، إذا ما دمرت مصايد أسماكهم المحلية. كما أنهم يعتمدون على ما يحصلون عليه من الغابات القريبة، مثل الوقود والغذاء والماء العذب.

ومن أجل تعزيز التنوع الأحيائي، على العالم أن يحدد أولا الأمكنة المختارة، ثم يقوم فورا بحمايتها. وفي هذه الأثناء لابد من الإجابة عن أسئلة أخرى، منها: هل يمكننا أن نحصل على كفايتنا من الطعام ونحافظ في ذات الوقت على التنوع الأحيائي؟ والجواب نعم. وهل الحفاظ على الأنواع يتطلب من البشرية أن تعود إلى نظام الحياة البدائي الذي عاشته قبل النهضة الصناعية؟ والجواب لا. ولا جدال بأن تعزيز التنوع الأحيائي يكلف أثمانا باهظة، كما ستكون المنافع كثيرة.

جغرافية الانقراض غير الطبيعي(*)

إن معدلات الانقراض المرتفعة ليست في كل مكان، بل تنحصر في أمكنة غير متوقعة، ويفترض بداهة أن الانقراض سيحدث في الأمكنة ذات الكثافة السكانية العالية وحيث تعيش أعداد كبيرة من الأنواع (حيث يكون مزيد منهم في خطر). لكن هذه الفرضية خاطئة، ذلك أن الأنشطة البشرية تتركز في شرق أمريكا الشمالية وأوروبا، ومع ذلك فإن هذه المناطق لا تعاني إلا انقراضا قليلا. وهناك عدد قليل من الأمكنة يعيش فيها عدد كبير من الأنواع، مثل حوض الأمازون. وتشمل مناطق الانقراض السوداء معظم الأنواع في الجزر و**الثدييات** mammals في أستراليا والنباتات في القرن الجنوبي لإفريقيا وأسماك المياه العذبة في حوض الميسيسيبي وبحيرات شرق إفريقيا.

في **الجغرافية الحيوية** biogeography أربعة قوانين تفسر هذه النماذج الشاذة [*انظر الإطار في الصفحة 29*]. ويمكن إجمالها بالقول إن الطبيعة قد كونت عددا هائلا من «البيض»[1] (وهي **الأنواع غير الحصينة** أو **الحساسة** vulnerable species) ووضعتها في عدد قليل جدا من السلال، ثم ألقت بها في طريق الأذى والدمار.

إن إزالة أشجار غابة أو تجفيف أراض رطبة أو بناء سد على نهر أو نسف **شعب (حيد بحري) مرجاني** coral reef

(*) The Geography of Unnatural Extinction
(1) "eggs"

بالديناميت لقتل ما به من أسماك، يمكن أن يؤدي إلى القضاء مباشرة على الأنواع ذات المديات[1] الصغيرة أكثر من الواسعة الانتشار. ويشير القانون الأول إلى أنه يوجد في العادة العديد من هذه الأنواع غير الحصينة.

أما القانون الثاني فيجعل الأمور أكثر سوءا، لأن الأنواع غير الحصينة وذات مديات صغيرة تكون عادة نادرة محليا، مما يجعلها أقل حصانة. ويوضح القانون الثالث أن غابات العالم الاستوائية تحتوي على العدد الأكبر من الأنواع غير الحصينة. ويبيِّن القانون الرابع أن الأمور تزداد سوءا، ذلك أن الأنواع غير الحصينة أكثر من غيرها تستوطن عددا قليلا من الغابات الاستوائية الخاصة. وهكذا، فإن هذه القوانين تولِّد النمط الذي نلحظه، حيث يحدث الانقراض في الأمكنة التي يتم تخريب بيئتها الطبيعية، وبخاصة في عملية إزالة الغابات، وهي ذات الأمكنة التي تكثر فيها الأنواع غير الحصينة.

ربما يعيش نصف أنواع العالم في 25 منطقة استوائية غنية بالغابات، حيث أدت الأنشطة البشرية إلى إزالة أكثر من 70 في المئة من مساحات الكساء الخضري الطبيعي. إن هذا الجمع بين الأعداد الكبيرة للأنواع غير الحصينة والمعدلات العالية لتخريب البيئة، يميز هذه المناطق بأنها **بقاع ساخنة** hot spots. [*انظر الإطار في الصفحتين 30 و 31*]. أما معرفة الباحثين بأحوال المحيطات فهي أقل مما يعرفون عن اليابسة، لكن هذه المحيطات أيضا تحتوي على تجمعات مماثلة للأنواع بمديات صغيرة. وتوجد هذه التجمعات في نظم بيئية لشعاب مرجانية في مواجهة مباشرة مع الأنشطة البشرية، كما هي الحال بالنسبة إلى مثيلاتها البرية.

لكن مساحات واسعة من البراري البكر مازالت قائمة، مثل الغابات الاستوائية الرطبة في الأمازون والكونغو والغابات الخشبية الجافة في إفريقيا والغابات الصنوبرية في كندا وروسيا. وإذا ما استمرت عمليات إزالة هذه الغابات البرية بالوتيرة الحالية فإن معدل الانقراض فيها وفي البقاع الساخنة[2] سوف يصير قريبا أعلى بألف ضعف العلامة القياسية[3] «واحد في مليون».


لورس نحيل (الليمور هندي نحيل) / سيريلانكا

مفترق طرق أمام التنوع الأحيائي(*)

المشكلة:

- إن معدلات انقراض الحيوانات والنباتات أعلى بكثير من توقعاتنا المبنية على الأدلة الأحفورية والجزيئية، وهي تقترب من كونها أعلى من العلامة القياسية[3] ألف مرة. وبسبب هذه الانقراضات سوف يقل التوازن على الكرة الأرضية بشكل لا عودة عنه.

الخطة:

- من أجل الحفاظ على التنوع الأحيائي يجب علينا الحماية الفورية لبعض الأمكنة المختارة التي تتعرض فيها معظم الأنواع للمخاطر. وقد تم تحديد هذه الأمكنة على أنها 25 «بقعة ساخنة» في العالم، إضافة إلى مختلف مناطق الغابات البرية.

تظهر جميع الصور في هذه المقالة أنواعا نادرة من بقع العالم الساخنة.

إيجاد حلول لمناطق خاصة(**)

بعد أن يتم الاتفاق على المناطق الواجب حمايتها، كيف يمكن للعالم أن يحقق هذا العمل؟ وبصفة خاصة، من الذي سيدفع تكلفة الحماية؟ من الواضح أن الدول المتقدمة هي المصدر الأساسي للدعم، لكن الحل يبدو أكثر تعقيدا: إذ إن معظم الغابات البرية إضافة إلى 25 من المناطق الساخنة كانت يوما مستعمرات أوروبية (ومازالت كاليدونيا الجديدة محمية فرنسية). ومثل هذه البلدان المستقلة حاليا تنظر بحذر إلى جهود الدول التي استعمرتها سابقا، لإنقاذ غاباتها. ومن الواضح أن هذه الدول غالبا ما تنظر إلى غاباتها على أنها مصدر للدخل أكثر من كونها حدائق وطنية مستقبلية يجب الحفاظ عليها.

ويوفر بيع **عقود التخشيب (قطع الأشجار)** logging leases للدول الفقيرة مدخولا ماديا قليلا لا أكثر، ولكن الدمار الذي تسببه عمليات التخشيب الجائرة للمناطق الطبيعية وللبشر الذين يعيشون فيها يمكن أن يكون كبيرا. لذا فإننا نتساءل ما هي التكلفة التي يمكن أن تتحملها مجموعات الحفاظ على البيئة لشراء عقود التخشيب؟ وتقدَّر هذه التكلفة من واقع عقود حقيقية، بخمسة بلايين دولار أمريكي لحماية ما يقرب من خمسة ملايين كيلومتر مربع من الغابات التي مازالت برية. وتوفير هذا المبلغ لا يبدو عملا مستحيلا، إذا ما عرفنا مقدار المبالغ التي تتدفق إلى المنظمات الدولية للحفاظ على البيئة.

ولا شك أن هناك العديد من التحديات التي يمكن من خلالها مساعدة البلاد الغنية بالغابات على تطوير بدائل لعمليات التخشيب، ليس أقلها إقناع الخشابين بأن قيمة الغابات سوف تزداد كلما ازدادت المساحات المحمية منها. وهناك أيضا انتشار عمليات التخشيب غير القانونية، وهذا يدعونا للتساؤل ما هي الضمانات المتوافرة للاستمرار في حماية هذه الغابات؟ وعلى سبيل المثال، فإن أندونيسيا تمتلك ثاني

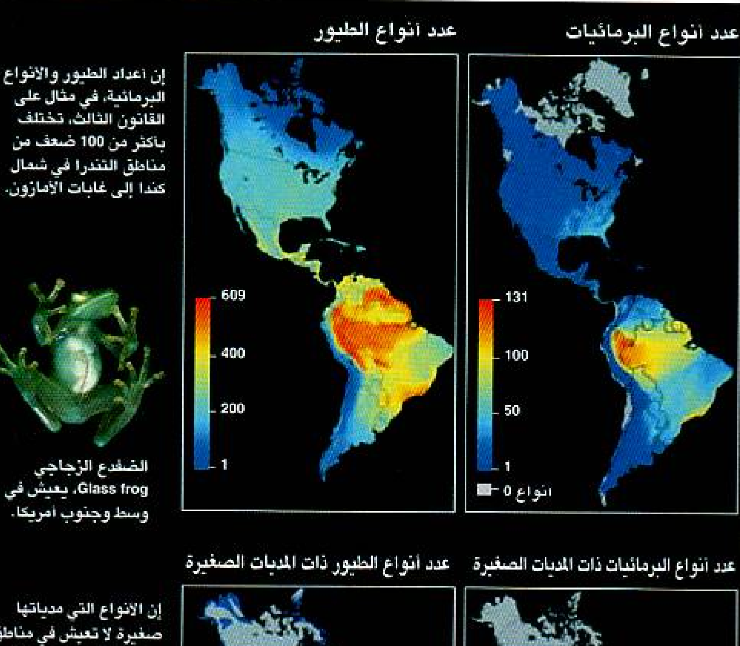
(*) Crossroads for Biodiversity

(**) Finding Solutions for Special Places

(1) ج: مدى range (2) The hot spots (3) benchmark

قوانين الجغرافيا(*)

إن القوانين البيئية (الإيكولوجية) هي أنماط تُطبق عالميا على الكثيرمن المجموعات المختلفة **للأنواع** species. وأربعة من هذه القوانين تصف أين تعيش هذه الأنواع ووفرتها.



إن أعداد الطيور والأنواع البرمائية، في مثال على القانون الثالث، تختلف بأكثر من 100 ضعف من مناطق التندرا في شمال كندا إلى غابات الأمازون.

الضفدع الزجاجي Glass frog، يعيش في وسط وجنوب أمريكا.

عدد أنواع البرمائيات ذات المديات الصغيرة

عدد أنواع الطيور ذات المديات الصغيرة

204 – 150 – 50 – 1 – أنواع 0

22 – 20 – 10 – 1 – أنواع 0

إن الأنواع التي مدياتها صغيرة لا تعيش في مناطق غنية بالأنواع. فتقريبا، ليس للأمازون، على سبيل المثال، أنواع مدياتها صغيرة، في حين أن للغابات على طول الخط القاعدي للأنديز Andes وفي سواحل البرازيل الكثير منها، وذلك وفق القانون الثالث. والمديات الصغيرة هي تلك التي تقع تحت أوسط median المساحات لمجموعة الأنواع.

القانون الأول: إن معظم المديات (ج: مدى range) البيئية صغير جدا؛ والقليل منها واسع جدا. فواحد من 10 طيور، وواحد من 6 ثدييات، وأكثر من نصف عدد البرمائيات لها مديات بيئية أصغر مساحة من ولاية كونكتيكت. ومعظم الطيور والثدييات والبرمائيات جميعها تقريبا لها مديات بيئية أصغر من مساحة الولايات الثلاث: كاليفورنيا - أوريگون - واشنطن، مجتمعة. أما الطيور الشائعة في المدن والقرى، مثل طيور الكاردينال (طائر أمريكي مغرد) cardinals وطيور البقر cowbirds فمدياتها البيئية واسعة فوق العادة.

القانون الثاني: إن الأنواع ذات المديات البيئية الصغيرة هي نادرة محليا. فبالنسبة إلى الطيور، يلاحظ أن ثلث عدد تلك الطيور التي تمتلك مديات بيئية مساحتها تساوي مساحة كونكيتكت، «نادر» - فقد يحتاج المراقب إلى عدة أيام من البحث الحقلي ليعثر على واحد منها. وقلة منها فقط «شائعة» - يراها المراقب في كل رحلة حقلية. وجميع الأنواع تقريبا التي لها مديات بيئية تبلغ تقريبا مساحة شمال أمريكا، هي شائعة.

القانون الثالث: إن عدد الأنواع التي توجد في مساحة مفروضة يختلف كثيرا وتبعا لبعض العوامل المشتركة. فعلى سبيل المثال، إن في القطب الشمالي Arctic أنواعا قليلة، في حين ثمة أنواع كثيرة في المناطق الاستوائية tropics.

القانون الرابع: إن الأنواع التي مدياتها صغيرة هي غالبا ما تكون مركزة جغرافيا.

أكبر احتياطي من الغابات، لكنها حسب التقييمات الدولية تعتبر من الدول التي يكثر فيها الفساد، إضافة إلى أن لها سجلا سيئا في التعدي على حقوق الذين مازالوا يعيشون في الغابات.

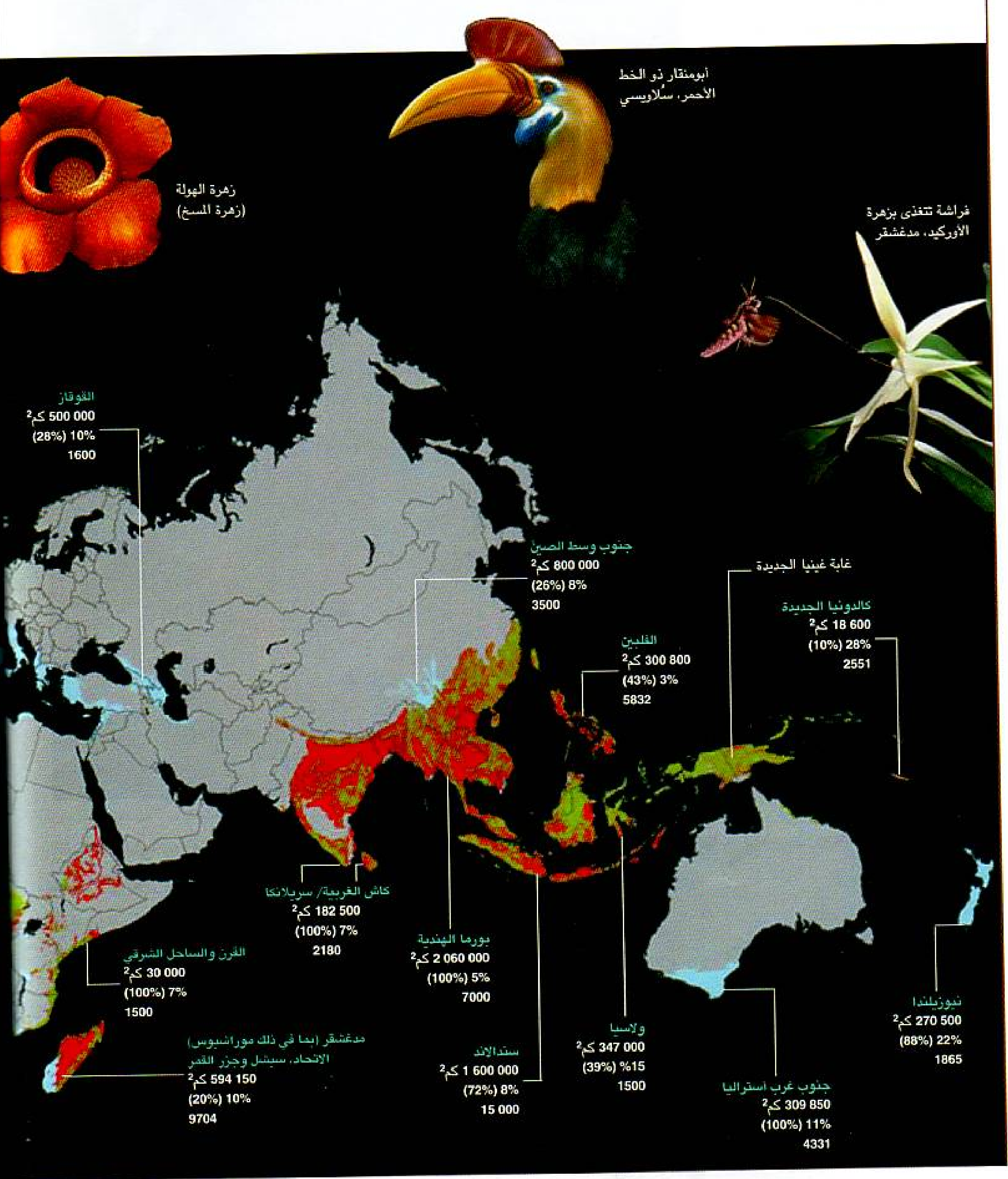
إن تهجير السكان الفقراء يشكل واحدا من أهم أسباب اضمحلال الغابات الاستوائية. فبعضهم أُجْبِر على ترك مزارعه إلى أمكنة أخرى، وبعضهم الآخر شجعته الحكومات على البحث عن مأوى في المدن الفقيرة. ونحن من الناحية العملية أو الأخلاقية لا نستطيع توجيه اللوم إلى هذه الحكومات أو نحذرها من القضاء على الغابات. وإذا كنا نحن الأغنياء نقدر هذه الغابات لذاتها، وليس كمراعٍ للقطعان العجاف، وجب علينا أن نجد الوسائل لتعويض الدول التي تحافظ على غاباتها تعويضا ماديا. ومن المهم أن نجد الوسائل للتأكد من أن هذه التعويضات ستذهب إلى أولئك القاطنين على أطراف هذه الغابات والذين يملكون القرار اليومي حول مصير هذه الغابات. وكما هي الحال في السياسة فإن الحفاظ على البيئة هو خيار و قرار محليان.

تشكل البقع الساخنة تحديات مختلفة عن تلك الخاصة بالغابات ذات الكثافة السكانية القليلة؛ ذلك أن هذه البقع الساخنة تتوافر فيها أعداد كبيرة من السكان، إضافة إلى أن ثمن الأراضي فيها أعلى بكثير. فهل من العملي أن نحمي ما تبقى منها؟ الجواب نعم، لكن علينا أن ندفع الثمن.

(*) The Laws of Biogeography

إنقاذ مناطق خاصة(*)

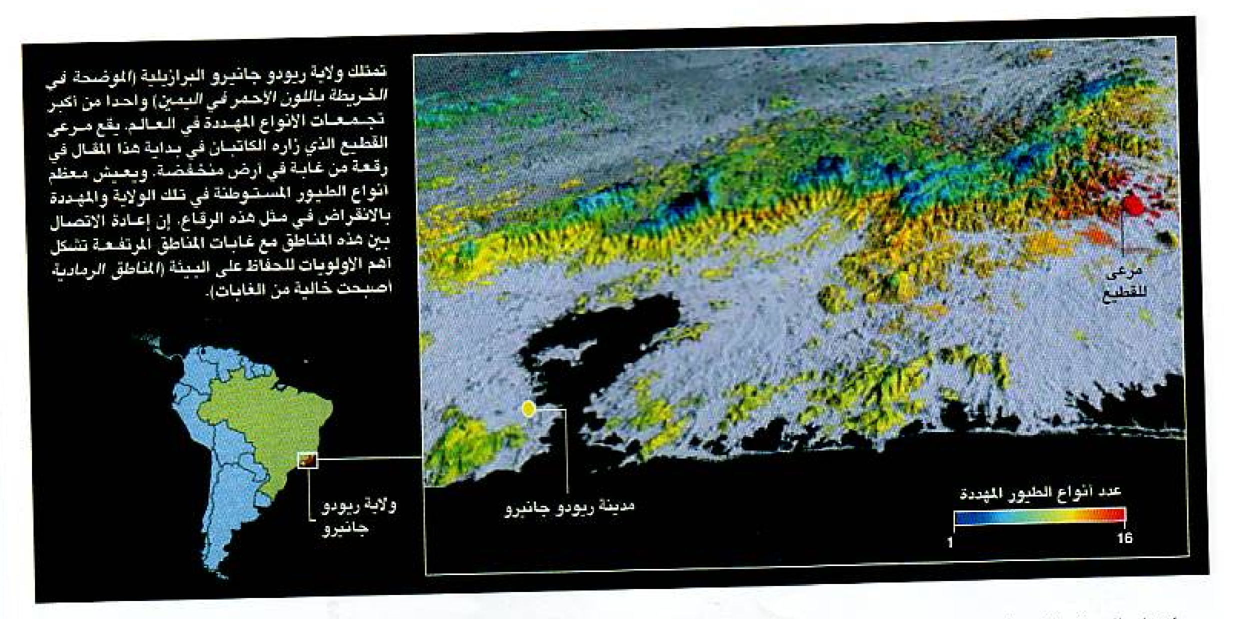
تؤوي مناطق الغابات الاستوائية الثلاث المتبقية في العالم، إضافة إلى 25 من «البقاع الساخنة» *(المشار إليها على الخريطة)*، معظم أنواع النباتات والحيوانات الموجودة في العالم. ويعرف <N. مايرز> [من جامعة ديوك] «البقاع الساخنة» بأنها المساحات التي تحوي عددا كبيرا من النباتات المستوطنة والتي فقدت 70 في المئة من غطائها الأخضر. إن حماية هذه الأمكنة وحماية ما تبقى من الغابات الاستوائية البرية تدعم بقاء معظم الأنواع بأقل تكلفة.



(*) Saving Special Places



مفتاح
اسم منطقة البقعة الساخنة
الإمتداد الأصلي بالكيلومترات المربعة
النسبة المئوية المتبقية (النسبة المئوية للأرض المحمية)
عدد الأنواع النباتية المستوطنة
الغابات الإستوائية المتبقية
الغابات الإستوائية التي أزيلت
مناطق أخرى تعتبر بقاعا ساخنة
تشريات خيطية البرازيل
الذئب ذو الفروة أمريكا الجنوبية
كاليفورنيا/ مقاطعة الزهور
324 000 كم^2
25% (39%)
2125
حوض البحر الأبيض المتوسط
2 362 000 كم^2
5% (38%)
13 000
الكاريبي
263 500 كم^2
11% (100%)
7000
أمريكا الوسطى
1 155 000 كم^2
20% (50%)
5000
بولينيزيا/ ميكرونيزيا (لا تظهران)
46 000 كم^2
22% (49%)
3334
حوض الأمازون
شوكو/ داريان غرب الاكوادور
260 600 كم^2
24% (26%)
2250
سيرادو البرازيل
1 783 200 كم^2
20% (6%)
4400
غابات غرب إفريقيا
1 265 000 كم^2
10% (16%)
2250
الأنديز الاستوائية
1 258 000 كم^2
25% (25%)
20 000
حوض الكونغو
غابة البرازيل الاطلسية
1 227 600 كم^2
7% (36%)
8000
وسط شيلي
300 000 كم^2
30% (10%)
1605
سكولانت كارو
112 000 كم^2
27% (8%)
1940
رأس مقاطعة الزهور
74 000 كم^2
24% (78%)
5682
الحرباء النمر، مدغشقر



تمتلك ولاية ريودو جانيرو البرازيلية (الموضحة في الخريطة باللون الأحمر في اليمين) واحدا من أكبر تجمعات الأنواع المهددة في العالم. يقع مرعى القطيع الذي زاره الكاتبان في بداية هذا المقال في رقعة من غابة في أرض منخفضة. ويعيش معظم أنواع الطيور المستوطنة في تلك الولاية والمهددة بالانقراض في مثل هذه الرقاع. إن إعادة الاتصال بين هذه المناطق مع غابات المناطق المرتفعة تشكل أهم الأولويات للحفاظ على البيئة (المناطق الرمادية أصبحت خالية من الغابات).

لننظر إلى الغابات الساحلية المتبقية في البرازيل. لقد توصلنا مع «ألڤيس» وزملائها إلى حل مشترك يجمع ما بين المعرفة بتوزع الأنواع وخرائط الاستشعار عن بعد للمساحات المتبقية التي تغطيها الغابات والمرتفعات (انظر الشكل في هذه الصفحة). ويلاحظ أن الغابات على المرتفعات العالية مازالت في حالة جيدة وتشكل كتلا متواصلة. لقد حمتها صعوبة الوصول إليها، وهي تحتوي على عدد قليل من الأنواع المهددة بالانقراض. لكن همنا الأكبر هو الغابات التي تغطي الأراضي المنخفضة والتي تحتوي على العدد الأكبر من الأنواع غير الحصينة. لقد جرى تقطيع هذه الأراضي إلى رقع صغيرة. ويعتبر التقطيع مشكلة في حد ذاته، لأن التجمعات غير الحصينة من الحيوانات والنباتات في كل بقعة يمكن أن تتضاءل وتنقرض في غياب مهاجرين من حين إلى آخر. ويؤدي التقطيع كذلك إلى منع الأنواع من الانتشار والنفاذ إلى بيئات أكثر برودة في أعالي المنحدرات حينما تصبح في حاجة إلى ذلك بسبب الاحتباس الحراري.

إن إعادة تأهيل الغابات بسد الثغرات بين غابات الأراضي المنخفضة، مثل مراعي القطعان، تعد مجدية؛ ولأن المساحات المستهدفة صغيرة فإن تكاليفها قليلة نسبيا. ومما يساعدنا على أداء مهمتنا أننا نعمل مع علماء محليين وبإشراف منظمات محلية. لكن معظم البلدان ذات التنوع الأحيائي تفتقر إلى الخبراء القادرين على تحديد مشكلاتهم الخاصة بتأثير فقدان الأنواع في اقتصاداتهم المحلية المتنوعة ونظمهم السياسية ومعتقداتهم الدينية وقيمهم الثقافية. ولا يتوقع المرء أن تبقى المساحات الطبيعية سليمة ما لم يتوافر مختصون محليون في مجال الحفاظ على البيئة ممن حصلوا على تدريب جيد، كي يتمكنوا من وضع حلول مبدعة للإشكاليات التي يفرضها استغلال المصادر الطبيعية في بلدانهم.

حسن استخدام الحوافز(*)

لماذا لا تقوم البرازيل بإزالة غابات الأمازون لتجني الفوائد التي حصلت عليها الولايات المتحدة جراء إزالة غاباتها؟ (ولدى البرازيل لتنفيذ ذلك خطة طموحة، يطلق عليها «**تقدمي يا برازيل**» Avança Brasil). بداية يمكن القول إن المقارنة بين الدولتين فيها الكثير من الخلل؛ ذلك أن التربة تحت الغابات الرطبة، بخلاف تلك التي توجد في غابات المناطق الحارة، غاية في الفقر. وقد تم إزالة ما يقرب من سبعة ملايين كيلومتر مربع من غابات المناطق الاستوائية الرطبة على مستوى العالم أجمع، وهو ما يساوي نصف مساحتها الإجمالية. ولقلة خصوبة التربة والخبرات الزراعية المتردية، تم تحويل مليوني كيلومتر مربع إلى أراض زراعية، أما باقي تلك الأراضي فقد كانت غير قابلة للاستخدام، وقد امتلأت بأعشاب كريهة لا تصلح إلا لعدد قليل من القطعان أو الأغنام. إن هذه المساحات الواسعة غير المستخدمة والتي كانت يوما مليئة بالغابات، تدحض ما يذهب إليه الذين يعتقدون أن إزالة الغابات يمكن أن تؤدي إلى رخاء اقتصادي محتوم.

والأمر الآخر، أن الدولة التي تجادل في أن تطورها يتطلب أن تدمر ثرواتها الطبيعية، تجلب على نفسها عواقب مشؤومة جراء هذا القرار. ونستدل على ذلك مما جرى في الولايات المتحدة، إذ قامت بالإضرار بأنهارها نتيجة إقامة السدود عليها أو توزيعها عبر قنوات. لقد كانت التكلفة العالية لهذه المشاريع التي تحملها دافعو الضرائب، كارثية. وعلى سبيل المثال، فإن سلسلة الخنادق الضخمة والسدود تسببت في دمار هائل لمنطقة إڤركلادز Everglads في جنوب فلوريدا. وقد تم ذلك بهدف توفير مساحات رطبة لزراعة قصب السكر. ويدفع الأمريكيون نحو بليون دولار سنويا، للإبقاء على الإنتاج المحلي للسكر وذلك أكثر

(*) Getting the Incentives Right

مما قد يدفعونه لشراء هذه السلعة من الأسواق العالمية. إضافة إلى ذلك، فإن التكلفة التي يتحملها دافعو الضرائب جراء بناء الخنادق والسدود وصيانتها وتنظيف البيئة ودعم ضريبة الملكية المحلية تعتبر تكلفة إضافية. وهناك خطة إعادة التأهيل والترميم لمنطقة إفرگلادز تتكلف عشرة بلايين دولار لدعم عملية إيصال الماء لجنوب فلوريدا؛ ولكن هذه الخطة لا تضيف أي فوائد، أو قليلا منها، لإفرگلادز خلال ربع القرن الأول من تشغيلها.

وتقدم المسامك أمثلة أخرى كثيرة، فبسبب الدعم الحكومي العام، فإن تكلفة عمليات صيد الأسماك على مستوى العالم أقل من تكلفتها الحقيقية من دون هذا الدعم. ويذكر كل من ‹مايرز› و ‹J. كنت› في كتابهما الموسوم ***«الدعم الخاطئ»*** *Perverse Subsidies* أن الدخل المحقق من سوق السمك وصل إلى 70 بليون دولار عام 1989، في حين أن التكلفة الحقيقية لصيد هذا السمك بلغت 124 بليون دولار، وحتى هذا الرقم لا يتضمن الدعم الإضافي الذي تدفعه حكومات الأقاليم والولايات.

أُزيلت سبعة ملايين كيلومتر مربع من الغابات الاستوائية الرطبة، وهذا يعادل نصف مساحتها الإجمالية الأصلية، لكنه لم يُستَصلح سوى مليوني كيلومتر مربع من الأرض لتصبح منتجة للمحاصيل.



زهرتا تيوي واوهيا في هاواي

أما الوجه الآخر من هذه العملة فيتمثل في أن الطبيعة تمنحنا خدمات أساسية ولكنها لا تحظى بالتقدير الذي تستحقه. وهناك قائمة طويلة من هذه الخدمات يعددها تقرير صدر أخيرا حول «تقويم النظم البيئية خلال قرن» منها: الغذاء، الماء النقي، خشب الوقود، النباتات الطبية، المحاصيل النباتية البرية، منع الفيضانات، تنظيم المناخ، وغيرها الكثير. ويضاف إلى جميع هذه الخدمات: القيمة، المنافع الترفيهية والجمالية والروحية التي ينبغي أن تأخذها الدولة في الحسبان إذا أرادت أن تقرر فيما إذا كان تقطيع غابة يجلب المنافع فعلا.

وتتمثل إحدى الوسائل التي يمكن من خلالها أن تدعم الدول الغنية قرار الحفاظ على الغابات في أن تعمل على أن تنضم الدول النامية إلى نظام كيوتو Kyoto لتجارة الكربون [انظر: «كيف يجب علينا تحديد *الأولويات*؟» في هذا العدد الخاص]. فقد اتضح أن التغيير الذي يطرأ على الأرض، وبخاصة التغيير الذي يتعلق بطريقة التعامل معها والذي من أهم مظاهره إزالة الغابات، يتسبب في إطلاق ربع كمية ثنائي أكسيد الكربون على مستوى العالم، وذلك حسب ما توصلت إليه «هيئة المستشارين الدولية (بين الحكومية) حول تغير المناخ.»(1) إن سوقا دولية في الكربون يمكن أن تولِّد حافزا للدول الغنية بالغابات للحفاظ على غاباتها بدلا من تحويلها إلى مراعٍ للقطعان.

وهناك حافز دولي آخر هو **السياحة البيئية** ecotourism؛ ذلك أن الغابات الاستوائية والشعاب المرجانية والأراضي الرطبة - وهي في الحقيقة أمكنة تعيش فيها الأنواع غير الحصينة - تعتبر مناطق طبيعية ساحرة بسبب وجود هذه الكائنات فيها. وغالبا ما يغامر السائح البيئي بالذهاب إلى الأمكنة البعيدة عن عاصمة الدولة المعنية وما ينفقه قادتها فيها بسخاء كبير. ففي قرية بعيدة في شمال غرب مدغشقر، حيث تعمل مجموعتنا، يبلغ معدل دخل الفرد أقل من دولار واحد في اليوم. إن الأموال التي ينفقها السيّاح لزيارة الحديقة الوطنية القريبة، ليأكلوا في مطعم محلي وليقيموا في أحد المخيمات تعتبر قليلة بالمعايير المحاسبية الدولية. لكنها على المستوى المحلي تعتبر سببا قويا ودافعا لعدم إحراق الغابة والقضاء على **الليمورات** lemurs (من فصيلة القردة الطويلة الذنب) التي تعيش فيها.

إن حماية التنوع الأحيائي، سواء كان ذلك في الغابات البعيدة أو في البقع الساخنة المشبعة بالكائنات الحية والموجودة في المحيطات أو على اليابسة، يمكن أن تتحقق؛ إذ إن العديد من الإجراءات اللازمة لذلك غير مكلفة، وأن الكثير من هذه الغابات يوفر منافع اقتصادية محلية. وعلى جيلنا أن يقرر تفعيل هذه الإجراءات، وإلا فقد يفوت الأوان إذا ما تُرك ذلك للجيل القادم. ■

(١) Intergovernmental Panel on Climate Change

المؤلفان

Stuart L.Pimm - Clinton Jenkins

يعملان في مدرسة نيكولاس للبيئة وعلوم الأرض في جامعة ديوك، وهما باحثان في مجال الحفاظ على البيئة يقومان بتوثيق الانقراضات الماضية والمستقبلية المحتملة، وذلك للوصول إلى طرق تساعد على منع حدوث تلك الانقراضات. ويختص جينكنز في استخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS وتقانة الاستشعار من بعد لتحديد الأولويات في إجراءات الحفاظ على البيئة.

مراجع للاستزادة

Biodiversity Hotspots for Conservation Priorities. N. Myers, R.A. Mittermeier, C.G. Mittermeier, G.A.B. da Fonseca and J.Kent in *Nature*, Vol. 403,pages 853–858; February 24, 2000.

Can We Defy Nature's End? S. L. Pimm et al. in *Science*, Vol. 293, pages 2207–2208; September 21, 2001.

Perverse Subsidies: How Tax Dollars Can Undercut the Environment and the Economy. Norman Myers and Jennifer Kent. Island Press, 2001.

The World According to Pimm: A Scientist Audits the Earth. Stuart L. Pimm. McGraw-Hill, 2001.

Ecosystems and Human Well-being: Synthesis Report (Millennium Ecosystem Assessment). Island Press, 2005.

أرباح أكثر وانبعاثات كربونية أقل(*)

إن زيادة كفاءة استخدام الطاقة لا تحمي مناخ الأرض فحسب، بل أيضا توفر موارد مالية للمنتِج والمستهلِك على السواء.

<A. B. لوفينز>

ثمة عيب أساسي يعتور كامل الحوار الدائر بشأن احترار مناخ الأرض؛ إذ يزعم الخبراء على طرفي الحوار أن حماية مناخ الأرض ستفرض المفاضلة بين خيارين: البيئة أو الاقتصاد. فهم يقولون إن إحراق كميات أقل من الوقود الأحفوري من أجل إبطاء الاحترار أو وقفه سوف يرفع تكلفة تلبية احتياجات المجتمع من الخدمات المعتمدة على الطاقة، والتي تشمل كل شيء من النقل السريع إلى الاستحمام بالماء الساخن. وعلى حين يقول أنصار البيئة إن الزيادة في التكلفة ستكون متواضعة ولكن لها ما يبررها؛ يحذر المعارضون، بمن فيهم مسؤولون على أعلى مستوى في الحكومة الأمريكية، من أن هذه الزيادة ستكون مرتفعة بصورة تحول دون قبولها. ولكن الجانبين كليهما مخطئان؛ فحماية المناخ بالأسلوب الصحيح تؤدي في الواقع إلى تخفيض التكاليف لا رفعها، وزيادة كفاءة استخدام الطاقة تخلق مصدرا اقتصاديا للثراء، ليس فقط لأنها توقف احترار الأرض، بل أيضا لأن تكلفة تحقيق وفورات في الوقود الأحفوري تقل كثيرا عن تكلفة شرائه.

ويعرف العالم طرائق كثيرة محققة لاستخدام الطاقة على نحو يزيد من الإنتاجية، وتسارع الشركات الذكية إلى استغلال هذه الطرائق. فخلال العقد الماضي زادت شركة دو بون الكيميائية إنتاجها بنسبة 30 في المئة تقريبا، ولكنها خفضت من استخدامها للطاقة بنسبة 7 في المئة؛ كما خفضت انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 72 في المئة (مقيسة بالكميات المكافئة من ثاني أكسيد الكربون)، فوفرت بذلك أكثر من بليوني دولار حتى الآن. واستطاعت خمس شركات كبيرة أخرى (هي IBM وبريتيش تليكوم وألكان ونورسكه كندا وباير) أن توفر مجتمعة بليوني دولار أخرى منذ أوائل التسعينات بتخفيض انبعاثاتها الكربونية بنسبة تزيد على 60 في المئة. وفي عام 2001، استطاعت شركة النفط العملاقة بريتيش بتروليوم (BP) تحقيق خطتها لتخفيض الانبعاثات الكربونية بحلول

(*) MORE PROFIT WITH LESS CARBON

لا يسهم إحراق الوقود الأحفوري في ارتفاع درجة حرارة الأرض فحسب، ولكنه أيضا يبدد الأموال. فتحسين كفاءة استخدام الطاقة في المصانع والمباني والسيارات والمنتجات الاستهلاكية سوف يخفض بسرعة من استهلاك الفحم والنفط، ويحد من الأضرار التي تلحق بمناخ الأرض، مع توفير مبالغ هائلة من الأموال للأعمال التجارية والأسر.

عام 2010 بنسبة 10 في المئة عن المستوى الذي كان سائدا في عام 1990، لتخفض بذلك قيمة ما تدفعه مقابل استهلاك الطاقة بنحو 650 مليون دولار خلال 10 سنوات. وفي الشهر 2005/5، تعهدت شركة جنرال إلكتريك برفع كفاءة استخدام الطاقة بنسبة 30 في المئة بحلول عام 2012، من أجل زيادة قيمة أسهم الشركة. وتعرف هذه الشركات العالية الكفاءة وعشرات مثلها أن رفع كفاءة استخدام الطاقة يحقق نتائج مالية أفضل ويعود عليها بمنافع جانبية ذات قيمة أكبر: تحسين الجودة والموثوقية في المصانع التي تستخدم الطاقة بكفاءة عالية، ورفع إنتاجية العمالة بنسبة تتراوح بين 6 و 16 في المئة في أمكنة العمل ذات الكفاءة العالية، وزيادة المبيعات بنسبة 40 في المئة في المحلات التي يراعى في تصميمها الاستفادة من ضوء النهار بجعله المصدر الرئيسي للإضاءة.

وتقل كمية الطاقة التي تستخدمها الولايات المتحدة الآن بنسبة 47 في المئة عما كانت عليه قبل ثلاثين سنة لكل دولار من الناتج الاقتصادي، فتنخفض بذلك التكاليف بما قيمته بليون دولار يوميا. وتؤدي هذه الوفورات إلى تخفيض شامل وكبير في الضرائب، وتؤدي أيضا إلى تخفيض العجز الفدرالي، ذلك أن تخفيض فواتير استهلاك الطاقة لا يعرقل معدلات التنمية العالمية، وإنما يعجل بها. وثمة مكاسب أخرى يمكن تحقيقها في كل مرحلة من مراحل إنتاج الطاقة وتوزيعها واستهلاكها. فكفاءة تحويل الفحم في محطة لتوليد الكهرباء إلى ضوء في المصباح الكهربائي العادي في منزلك لا تزيد على 3 في المئة. ومعظم الحرارة التي تتبدد ولا يستفاد منها في محطات توليد الكهرباء في الولايات المتحدة ـ والتي تزيد بنسبة 20 في المئة على الطاقة الإجمالية التي تستخدمها اليابان لجميع الأغراض ـ يمكن الاستفادة منها بطريقة تحقق ربحا. كما يفقد نحو 5 في المئة من الاستهلاك المنزلي للكهرباء في الولايات المتحدة في إمداد الحواسيب، وأجهزة التلفزيون والأجهزة المنزلية الأخرى بالكهرباء خلال فترات توقفها عن العمل من أجل إبقائها في وضع التأهب للتشغيل السريع. فالطاقة الكهربائية المبددة بسبب رداءة تصميم التوصيلات الكهربائية التي تحافظ على وضع التشغيل السريع تعادل إنتاج أكثر من اثنتي عشرة محطة لتوليد الكهرباء قدرة كل منها 10 000 ميگاواط تعمل بكامل طاقتها. وإجمالا، فإن فقدان الطاقة الذي يمكن تجنبه يكلف الأمريكيين مئات البلايين من الدولارات ويكلف الاقتصاد العالمي أكثر من تريليون دولار سنويا، فضلا عن أنه يخل باستقرار المناخ ولا يحقق أي شيء ذي قيمة.

وإذا كان رفع كفاءة استخدام الطاقة ينطوي على جميع هذه الإمكانيات، فلماذا لا يأخذ به الجميع؟ تتمثل إحدى العقبات في أن كثيرا من الناس يخلطون بين زيادة كفاءة الاستخدام (أي إنجاز شغل أكبر بطاقة أقل) والحد من الاستخدام، أو تحمل بعض المضايقة، أو الحرمان (إنجاز شغل أقل أو أسوأ أو الاستغناء عن الشغل). ومن العقبات الأخرى أن مستخدمي الطاقة لا يدركون حجم الفوائد التي تعود عليهم من تحسين الكفاءة، لأن الطاقة المدخرة لا تظهر كمقادير كبيرة ملموسة وإنما كملايين من المقادير البالغة الضآلة التي يستهان بها. فمعظم الناس لا يجدون الوقت أو لا يهتمون بتعلم الأساليب الحديثة لرفع الكفاءة والتي تتطور بسرعة لا يستطيع معها حتى الخبراء مواكبتها. وفضلا عن ذلك، فإن الدعم المالي الذي يتحمله دافعو الضرائب يجعل الطاقة تبدو رخيصة الكلفة. ورغم أن حكومة الولايات المتحدة قد أعلنت أن دعم كفاءة استخدام الطاقة هو إحدى أولوياتها، فإن هذا الالتزام هو في الغالب من قبيل التعبيرات البلاغية. وتوجد عشرات من القوانين والعادات الراسخة التي تعرقل جهود رفع الكفاءة أو التي تكافئ التبديد فعلا. على أنه يمكن عن طريق تغييرات بسيطة نسبيا تحويل جميع هذه العقبات إلى فرص للمشاريع التجارية.

مفترق طرق أمام الطاقة(*)

المشكلة:

- قطاع الطاقة في الاقتصاد العالمي يفتقر بشدة إلى الكفاءة. فمحطات الطاقة والمباني تبدد كميات هائلة من الحرارة، والسيارات والشاحنات تهدر معظم الطاقة الناتجة من الوقود، والأجهزة الاستهلاكية تضيع كثيرا من قدرتها (بل إنها تستهلك كهرباء حتى وهي متوقفة عن العمل).
- إذا لم نفعل شيئا، فإن استخدام النفط والفحم سوف يستمر في التزايد، مستنزفا مئات البلايين من الدولارات كل سنة من الاقتصاد ومؤديا إلى تفاقم مشكلات المناخ والتلوث والأمن النفطي.

الخطة:

- تحسين كفاءة الاستخدام النهائي هو أسرع الطرق وأكثرها ربحا لتوفير الطاقة. والكثير من المنتجات التي تستخدم الطاقة بكفاءة عالية لا تزيد تكلفتها عن تكلفة المنتجات المنخفضة الكفاءة. وقد تقل تكلفة بناء البيوت والمصانع الأقل استهلاكا للكهرباء عن تكلفة بناء المنشآت التقليدية. وتخفيض وزن السيارات يمكن أن يضاعف قدرتها على توفير الوقود من دون أن يهدد مأمونيتها أو يرفع سعرها.
- تستطيع الولايات المتحدة، بالاستعانة بوسائل تحسين الكفاءة وبمصادر الطاقة المتجددة القادرة على المنافسة، أن تستغني عن استخدام النفط بحلول عام 2050. ويمكن للشركات التي تسعى إلى تحقيق الربح أن تضطلع بالريادة في هذا المجال.

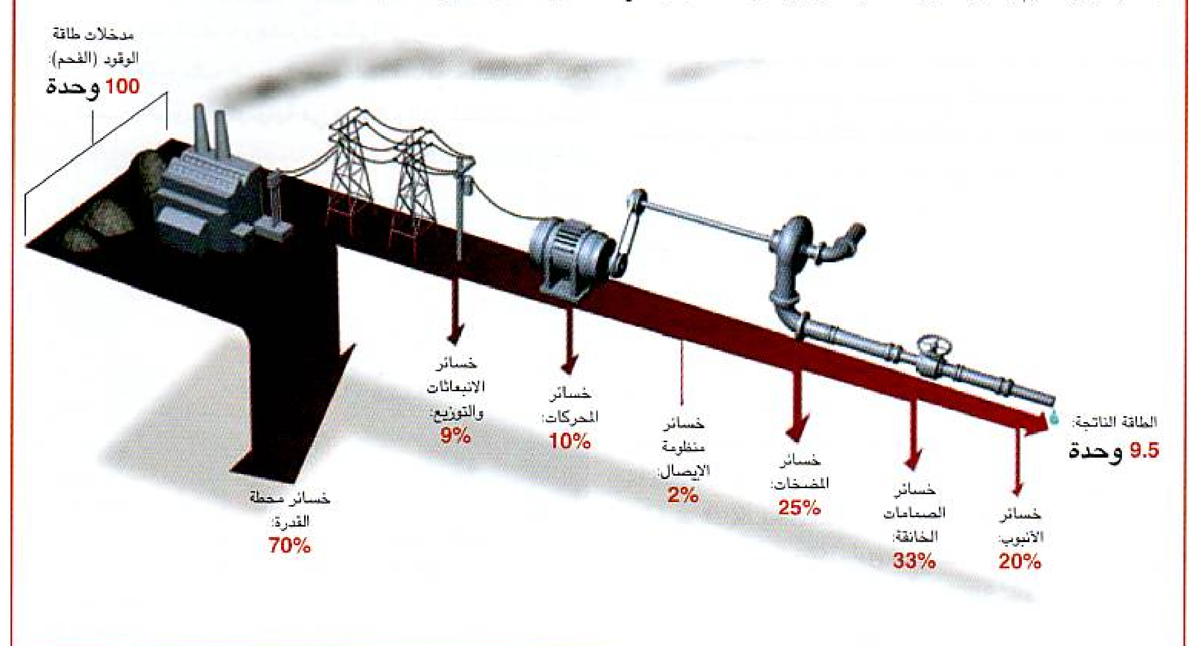
استخدام الألواح الشمسية سقوفا للمباني.



(*) Crossroads for Energy

خسائر مركبة(*)

على طول المسار من محطة توليد **القدرة** power إلى أنبوب في أحد المصانع، يقلل عدم الكفاءة مدخلات **الطاقة** energy من الوقود ـ المحددة في هذه الحالة بـ100 وحدة اختيارية ـ بنسبة تزيد على 90 في المئة، فلا يتبقى سوى 9.5 وحدة من الطاقة تصل في صورة تدفق للسائل خلال الأنبوب. ولكن تحقيق زيادات صغيرة في كفاءة الاستخدام النهائي يمكن أن يعكس اتجاه هذه الخسائر المركبة. وعلى سبيل المثال، فإن توفير وحدة واحدة من الطاقة الناتجة بتقليل الاحتكاك داخل الأنبوب سوف يخفض الوقود اللازم بمقدار عشر وحدات، فيخفض كثيرا من التكلفة والتلوث في محطة توليد الكهرباء، ويتيح استخدام مضخات ومحركات أصغر حجما وأرخص ثمنا.



وتحسين الكفاءة هو أهم خطوة نحو إيجاد نظام طاقة يحافظ على سلامة المناخ، ولكن التحول إلى أنواع وقود ينبعث منها كربون أقل سيكون له دور مهم أيضا. وقد بدأ الاقتصاد العالمي فعلا بالتخلص من الكربون: فعلى مدى القرنين الماضيين حلت محل أنواع الوقود الغنية بالكربون كالفحم أنواع تحتوي على كربون أقل (كالنفط والغاز الطبيعي) أو لا تحتوي على كربون على الإطلاق (كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح). ويمثل الكربون أقل من ثلث ذرات الوقود الأحفوري الذي يحرق حاليا. أما الجزء الباقي فيتكون من الهيدروجين الذي لا يلحق أي ضرر بالمناخ. ويعزز هذا الاتجاه نحو التقليل من الكربون زيادة الكفاءة في مجالات تحويل وتوزيع واستخدام الطاقة. فعلى سبيل المثال، يمكن بالجمع بين إنتاج الحرارة والكهرباء مضاعفة الشغل النافع الذي يمكن الحصول عليه من كل طن من الكربون المنبعث في الغلاف الجوي. ويمكن أن تؤدي هذه الإنجازات مجتمعة إلى تخفيض شديد في انبعاثات الكربون الإجمالية بحلول عام 2050، حتى مع التوسع الذي يشهده الاقتصاد العالمي. وتركز هذه المقالة على الجائزة الكبرى، ألا وهي الحصول على أكبر قدر ممكن من كل وحدة من وحدات الطاقة التي تصل إلى المنتجين والمستهلكين للحصول على مزيد من الشغل منها. فزيادة كفاءة الاستخدام النهائي يمكن أن تحقق وفورات هائلة في الوقود، وأن تحد من التلوث، ومن التكاليف الرأسمالية، لأن كميات كبيرة من الطاقة تضيع في كل مرحلة من مراحل رحلة الطاقة من مواقع الإنتاج إلى حيث يستفاد بها على النحو المطلوب [*انظر الإطار في هذه الصفحة*]. وهكذا فإن أي تخفيضات في الطاقة المستخدمة عند الوجهة النهائية، مهما كانت صغيرة، يمكن أن تحقق تخفيضات هائلة في المدخلات اللازمة عند المنبع.

ثورة الكفاءة(**)

ازداد رخص وشيوع الكثير من المنتجات التي تتميز بكفاءة عالية في استخدام الطاقة والتي كانت غالية الثمن ونادرة. فالأجهزة الإلكترونية للتحكم في السرعة، مثلا، أصبحت تنتج بالجملة وبسعر زهيد جعل بعض الموردين يقدمونها هدية مجانية مع كل محرك. ومصباح الفلورسنت الصغير الحجم والذي كان سعره يزيد على 20 دولارا قبل عقدين يتراوح سعره الآن بين دولارين وخمسة دولارات، ويقل استهلاكه للكهرباء بنسبة تتراوح بين 75 و 80 في المئة عن المصباح العادي ويعمّر لفترات أطول بنسبة تتراوح بين 10 أضعاف و 13 ضعفا، ورقائق تغطية النوافذ التي تسمح بنفاذ الضوء ولكنها

(*) Compounding Losses

(**) The Efficiency Revolution

تعكس الحرارة، تكلف حاليا ربع تكلفتها قبل خمس سنوات؛ بل إن هناك أنواعا كثيرة من الأجهزة في الأسواق المتقدمة - كالمحركات والمضخات الصناعية وأجهزة التلفزيون والثلاجات - لا تزيد تكلفة طرزها ذات الكفاءة العالية على تكلفة طرزها ذات الكفاءة المنخفضة. ولكن الأهم من جميع هذه التقنيات الأفضل والأقل تكلفة هو تلك الثورة الخفية في التصميم التي تجمع بين هذه التقنيات وتستخدمها.

وعلى سبيل المثال، ما مقدار العزل الحراري المطلوب لمنزل موجود في منطقة باردة المناخ؟ يتوقف معظم المهندسين عن إضافة المادة العازلة عندما تزيد تكلفة إضافة المزيد من هذه المادة عن قيمة الوفورات التي تظهر مع مرور الوقت في انخفاض قيمة فاتورة التدفئة. ولكن هذه المقارنة تغفل التكلفة الرأسمالية لنظام التدفئة - كالفرن والأنابيب والمضخات والمراوح، وما إلى ذلك - وهي تكلفة قد لا تكون ضرورية أبدا إذا كان العزل جيدا بالدرجة المطلوبة. ولنضرب مثلا على ذلك بمنزلي الخاص، الذي بني في عام 1984 بسنوماس في ولاية كولورادو، حيث يمكن أن تنخفض درجة الحرارة في فصل الشتاء إلى °44- مئوية وأن تصل إلى درجة التجمد في أي يوم من أيام السنة. ولا يوجد في المنزل نظام تدفئة تقليدي؛ بل تم عزل سقفه بطبقة يتراوح سمكها بين 20 و30 سنتيمترا من بوليمير البوريثان الرغوي، كما توجد في منتصف جدرانه المبنية من أحجار يبلغ سمكها 40 سنتيمترا طبقة أخرى سمكها 10 سنتيمترات من هذه المادة. وقد غطيت الألواح الزجاجية المزدوجة التي تتكون منها النوافذ بطبقتين أو ثلاث طبقات رقيقة، شفافة، عاكسة للحرارة في وجود غاز الكريبتون العازل، بحيث تحول دون نفاذ الحرارة، إضافة إلى عدد يتراوح بين 8 ألواح و14 لوحا من الزجاج. فبهذه الخواص، مع الحرارة المستردة من الهواء الذي أنهى دورته بالمنزل، تقلص الحرارة المبددة بالمنزل إلى درجة تزيد نحو 1 في المئة فقط على الحرارة المكتسبة من ضوء الشمس ومن الأجهزة والأشخاص الموجودين داخل المبنى. وأستطيع تعويض هذه الكمية الضئيلة المبددة باللعب مع كلبي (وهو ما يولد نحو 50 واط من الحرارة، يمكن زيادتها إلى 100 واط إذا رميت له كرة) أو بإحراق أوراق دراسات عتيقة عن الطاقة في موقد خشبي صغير في الليالي القارسة البرودة.

وترتب على الاستغناء عن الحاجة إلى نظام التدفئة تخفيض تكاليف الإنشاء بما قيمته 1100 دولار (بقيمة الدولار في عام 1983). وأعدت استثمار هذه الأموال، إضافة إلى 4800 دولار أخرى، في جهاز وفر نصف الماء، و99 في المئة من الطاقة اللازمة لتسخين الماء و90 في المئة من كهرباء الاستخدام المنزلي. وهذا المبنى الذي تبلغ مساحته 4000 قدم مربع - والذي يضم أيضا المقر الأصلي **لمعهد جبال الروكي** Rocky Mountain Institute، وهي جماعة لا تستهدف الربح شاركتُ في تأسيسها في عام 1982 - لا يكاد يستهلك من الكهرباء أكثر مما يستهلك مصباح واحد قدرته 100 واط (لا تشمل هذه الكميةُ الطاقةَ المستخدمة في الأجهزة المكتبية للمعهد). فالخلايا الشمسية تولد خمسة إلى ستة أضعاف هذه الكهرباء، فأبيعها مرة أخرى إلى المرفق. وقد سددت جميع الاستثمارات التي استخدمت لرفع الكفاءة تكلفتها في 10 أشهر باستخدام تقانات عام 1983، أما تقانات اليوم فهي أفضل وأرخص ثمنا.

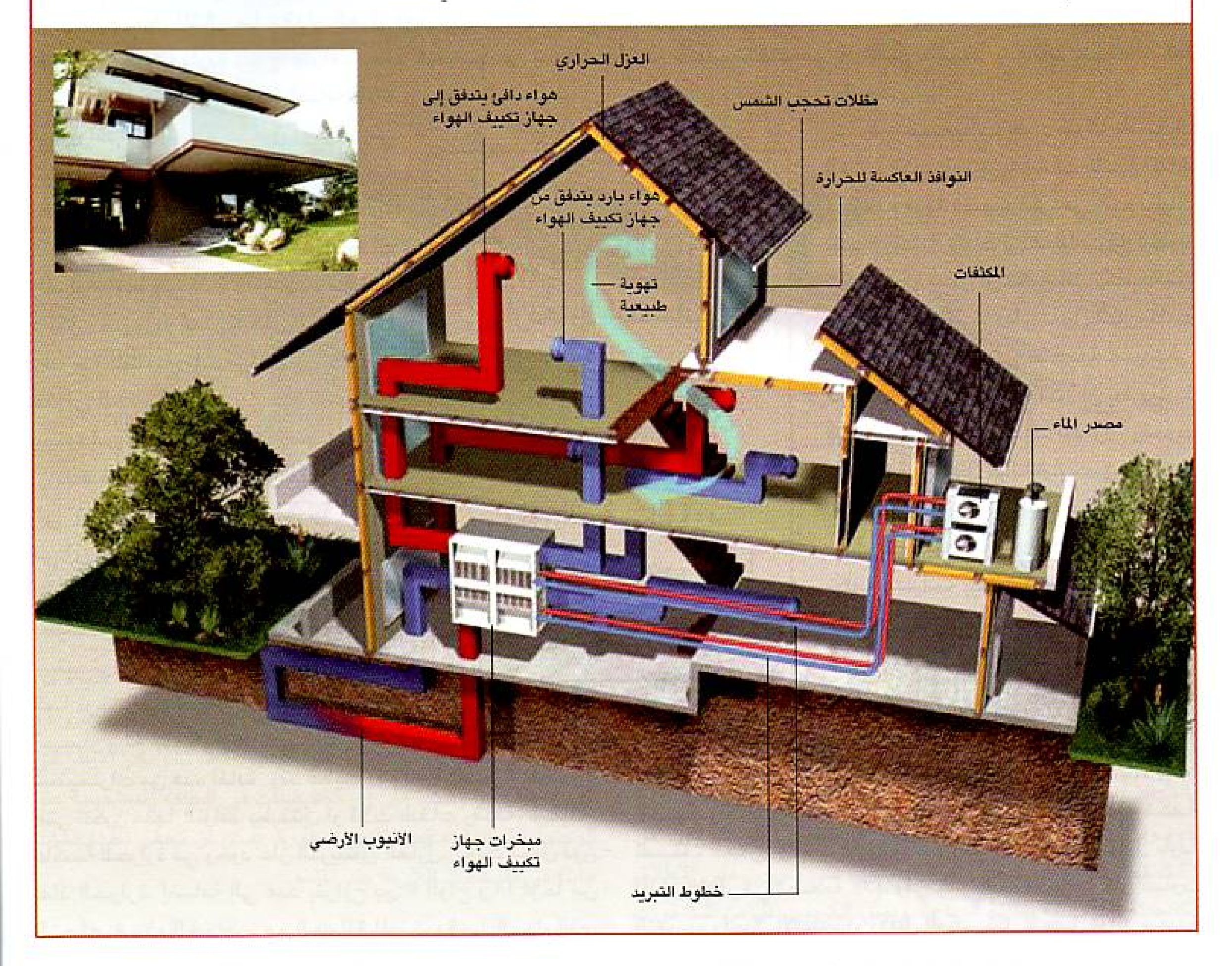
وفي التسعينات أجرت شركة باسيفيك للغاز والكهرباء تجربة أطلقت عليها ACT^2 استُخدم فيها تصميم ذكي في سبع بنايات جديدة وقديمة لإثبات أن عمليات رفع الكفاءة الكبيرة يمكن أن تكون أقل تكلفة من العمليات الصغيرة. وعلى سبيل المثال، قامت الشركة ببناء منزل في ضاحية جديدة في ديفيز بولاية كاليفورنيا، يمكن أن يبقى باردا في الصيف بدون تكييف للهواء. وقدرت الشركة أن مثل هذا التصميم، إذا ما استخدم على نطاق واسع، ستقل تكلفته طوال فترة بقائه بنحو 1800 دولار وستقل تكلفة صيانته بنحو 1600 دولار عن تكلفة منزل تقليدي بالحجم نفسه. وبالمثل، فقد قام المعماري التايلندي <S. بونياتيكارن> في عام 1996 ببناء منزل بالقرب من بانكوك بجوها الرطب يحتاج إلى جهاز واحد لتكييف الهواء لا تزيد قدرته على سُبع طاقة جهاز تكييف الهواء الذي يزود به عادة بناء بهذا الحجم. وأتاحت الوفورات التي تحققت في الأجهزة دفع تكلفة السقف العازل والجدران والنوافذ التي تحافظ على المنزل باردا [*انظر الإطار في الصفحة 38*]. وفي جميع هذه الأحوال، كان أسلوب التصميم واحدا: الاستخدام الأمثل للمبنى ككل لتحقيق فوائد متعددة بدلا من استخدام عناصر منفصلة لتحقيق فوائد فردية.

يحقق استخدام الطاقة بطريقة أكثر كفاءة ازدهارا اقتصاديا كبيرا - ليس بسبب وقف احترار الأرض فحسب، ولكن لأن تحقيق وفورات في الوقود الأحفوري أرخص كثيرا من شرائه.

يمكن أيضا استخدام هندسة النظام الكلي هذه في البنايات الإدارية والمصانع. فقد خفض مصممو مصنع سجاد أنشئ في شنغهاي في عام 1997 طاقة الضخ المطلوبة لتشغيل دارة توزيع الحرارة بنسبة 0.92 في المئة بإجراء تغييرين بسيطين. كان التغيير الأول هو تركيب أنابيب واسعة بدلا من الأنابيب الضيقة، ما أدى إلى تقليل الاحتكاك بدرجة كبيرة، ومن ثم فإنها أتاحت للنظام استخدام مضخات ومحركات أصغر حجما. وكان التغيير المبتكر الآخر هو مد الأنابيب قبل وضع الأجهزة التي تربط بينها هذه الأنابيب في أمكنتها. ونتيجة لذلك، أصبح السائل ينتقل خلال أنابيب قصيرة مستقيمة بدلا من سلوك مسارات ملتوية، مما قلل من الاحتكاك والتكاليف الرأسمالية بدرجة أكبر.

توفير الطاقة عن طريق التصميم(*)

كيف يمكنك الاحتفاظ بجو بارد لطيف في تايلند الاستوائية مع تخفيض استخدام الطاقة إلى الحد الأدنى؟ لقد استخدم المعماري <S. بونياتيكارن> [من جامعة شولالونككورن] المظلات والشرفات ليظلل بيته الذي تبلغ مساحته 350 مترا مربعا في باثومثاني، بالقرب من بانكوك. ويمنع العزل، الذي تحققه طبقة كاتمة للهواء ونوافذ تعكس الأشعة تحت الحمراء، نفاذ الحرارة إلى البيت مع السماح بالكثير من ضوء النهار. ويساعد التصميم المنبسط المفتوح وبئر السلم (فُرغة الدرج) المركزي على التهوية. ويتم تبريد الهواء داخل البيت عندما يمر من خلال أنبوب تحت الأرض. ونتيجة لذلك لا يحتاج البيت إلا إلى سُبع قدرة تبريد الهواء التقليدية لمبنى مماثل في الحجم. ولتخفيض قيمة فواتير الطاقة بدرجة أكبر، تستغل مكثفات جهاز تكييف الهواء في تسخين ماء المنزل.



وليس هذا من علوم الصواريخ في شيء، بل هو مجرد إعادة اكتشاف الهندسة الجيدة التي يرجع إلى عصر الملكة فيكتوريا. وهو صالح للتطبيق على نطاق واسع. وحديثا وضع فريق عمل في معهد جبال الروكي تصاميم إنشائية جديدة تحقق وفورات في الطاقة تبلغ 89 في المئة لمركز للبيانات، ونحو 75 في المئة لمصنع للمواد الكيميائية، و 70-90 في المئة لمحل تجاري كبير و 50 في المئة ليخت فاخر. وكانت التكاليف الرأسمالية في جميع هذه الحالات أقل من مثيلاتها في التصاميم التقليدية. كما اقترح الفريق إدخال تعديلات على مصافي تكرير النفط والمناجم ومصانع الشيبات المجهرية microchips الحالية تُخَفِّض استهلاك الطاقة بنسبة 40 إلى 50 في المئة، وتغطي تكلفتها خلال سنوات قليلة فقط.

سيارات مناسبة(**)

تستهلك وسائل النقل 70 في المئة من نفط الولايات المتحدة وتولد ثلث الانبعاثات الكربونية الصادرة عنها. وعموما، تعتبر هذه الانبعاثات أكثر جوانب مشكلة المناخ صعوبة، خاصة بعد أن بدأ ملايين الأشخاص في الصين والهند يشترون سيارات خاصة. ومع ذلك، فإن وسائل النقل تتيح فرصا هائلة في مجال رفع كفاءة استخدام الطاقة. وقد كشف تحليل نشر في عام 2004 ـ بعنوان «الفوز في المباراة النهائية مع النفط» أعده فريق العمل الذي أعمل معه في معهد جبال الروكي وشارك البنتاغون في رعايته ـ عن أن الجمع بطريقة ذكية بين

(*) Saving Energy by Design
(**) Vehicles of Opportunity

المواد الخفيفة الوزن وأحدث المبتكرات في مجال وسائل الدفع وعلم الديناميك الهوائي يمكن أن يقلل من استهلاك السيارات والشاحنات والطائرات من النفط بنسبة الثلثين مع عدم المساس بالراحة أو السلامة أو الأداء، مع بقاء السعر ميسورا.

وعلى الرغم من مرور 119 عاما من التطوير والتحسين، مازالت السيارة الحديثة متدنية الكفاءة بشكل مثير للدهشة؛ إذ لا يصل من طاقة وقودها إلى العجلات إلا 13 في المئة ـ بينما تتبدد الـ87 في المئة الأخرى في صورة حرارة وضوضاء في المحرك وفي منظومة نقل الحركة ودوران المحرك أثناء توقف السيارة وكماليات كأجهزة تكييف الهواء. ويستهلك أكثر من نصف الطاقة التي تصل إلى العجلات في تسخين الإطارات والطبقة السطحية من الطريق والهواء. ولا يستفاد إلا من 6 في المئة فقط من طاقة الوقود في تسريع السيارة (وتوجه جميع هذه الطاقة إلى تسخين الكوابح عندما تتوقف). ولأن 95 في المئة من الكتلة التي يجري تسريعها تتمثل في السيارة ذاتها فإن أقل من 1 في المئة من الوقود هو الذي يستخدم في تحريك السائق.

ومع ذلك، فالحل بديهي من ناحية علم الفيزياء: تخفيض كبير لوزن السيارة، فوزنها يتسبب في ضياع ثلاثة أرباع الطاقة عند العجلات. كما أن كل وحدة من الطاقة المدخرة عند العجلات عن طريق تخفيض الوزن (أو تقليل السحب) سوف توفر سبع وحدات أخرى من الطاقة التي تفقد الآن وهي في طريقها إلى العجلات. وكانت الشواغل المتعلقة بالتكلفة والسلامة سببا في تثبيط المحاولات التي تبذل منذ وقت بعيد لصنع سيارات أخف وزنا، ولكن المواد الحديثة التي تتميز بخفة الوزن ولكنها قوية رغم ذلك ـ **والأشابات الفلزية** metal alloys الجديدة والبوليميرات المُركّبة المتقدمة ـ يمكن أن تحدث تخفيضا كبيرا في كتلة السيارة من دون التضحية بقدرتها على مقاومة الصدمات. وعلى سبيل المثال، فإن قدرة المواد المُركّبة المحتوية على ألياف الكربون على امتصاص طاقة الاصطدام تفوق قدرة الصلب بأكثر من 6 أضعاف إلى 12 ضعفا لكل كيلوغرام. ومع تزايد استخدام هذه المواد، يمكن أن تصبح السيارات كبيرة ومريحة وأن توفر الحماية من دون أن تكون ثقيلة الوزن أو متدنية الكفاءة أو عدوانية، فتوفر بذلك النفط وتنقذ الأرواح. وكما قال <H. فورد>، فإنك لا تحتاج إلى وزن لكي تزيد القوة؛ ولو كان الأمر كذلك لصنعت الخوذة التي ترتديها وأنت تقود دراجتك من الصلب، وليس من الألياف الكربونية.

ولقد أتاحت تقنيات التصنيع المتقدمة التي أمكن التوصل إليها في العامين الماضيين، صنع هياكل سيارات من مواد كربونية مُركّبة تنافس الهياكل المصنوعة من الصلب. فالهيكل الخفيف يتيح لصانعي السيارات صنع محركات أصغر حجمًا (وأقل تكلفة). ولأن تجميع السيارات المصنوعة من مواد كربونية مُركّبة لا يحتاج إلى ورش لصنع الهياكل أو للدهان، ستقل مساحة المصانع وستنخفض تكلفة بنائها بنسبة 40 في المئة عن تكلفة بناء مصانع السيارات التقليدية. وستعوض هذه الوفورات الزيادة في التكلفة الناتجة من استخدام المواد الكربونية المُركّبة. وإجمالا، فإن استعمال هياكل السيارات فائقة الخفة يمكن أن يضاعف مرتين تقريبا كفاءة استخدام الوقود في السيارات الحديثة التي تعمل بالكهرباء والوقود ـ والتي وصلت كفاءتها بالفعل إلى ضعفي كفاءة السيارات التقليدية ـ من دون زيادة في أسعارها بالنسبة إلى المستهلك. وإذا ثبت أن هذه المواد المُركّبة غير جاهزة، فإن أنواع الصلب الجديدة الفائقة الخفة تمثل بديلا يمكن الاعتماد عليه. وسوف يحدد التنافس في الأسواق المواد الفائزة. ولكن أيا كان الأمر، فإن السيارات الفائقة الخفة والكفاءة سوف تبدأ بمنافسة السيارات التقليدية خلال السنوات العشر القادمة.

وإضافة إلى ذلك، فإن السيارات الفائقة الخفة يمكن أن تعجل كثيرا من عملية التحول إلى سيارات **خلايا الوقود الهيدروجينية** hydrogen fuel-cell التي لا تستخدم النفط إطلاقا [انظر: «*نحو سيارات تعمل بالهيدروجين*»، **العلوم**، العدد 9 (2005)، ص 16]. فالسيارة المتعددة الاستخدامات المتوسطة الحجم يؤدي تخفيض وزنها وسحبها إلى النصف إلى تقليل ما تحتاج إليه من الطاقة التي تصل إلى عجلاتها بمقدار الثلثين لتصل كفاءتها في الوقود إلى ما يعادل 178كم لكل غالون، ومن ثم فإنها لن تحتاج إلا إلى خلية وقود قدرتها 35 كيلوواط ـ أي ثلث الحجم المعتاد، وسوف يُسهِّل ذلك تصنيعها بكلفة ميسورة [*انظر الإطار في الصفحة 40*]. ولأن السيارة ستحتاج فقط إلى حمل ثلث ما تحمله من الهيدروجين، فلن تحتاج إلى أي تقانات تخزين جديدة؛ فخزانات ألياف الكربون الصغيرة الحجم والمأمونة، المتوافرة في صورة جاهزة للتشغيل، يمكن أن تتسع لهيدروجين يكفي لتسيير السيارة المتعددة الأغراض لمسافة 530 كيلومترا. وبناء على ذلك، فإن أول شركة لصناعة السيارات تستخدم المواد الفائقة الخفة سوف تفوز في سباق الخلايا الوقودية،

إدمان على النفط

28 مليون

برميل من النفط ستستهلك يوميا في الولايات المتحدة في عام 2025 إذا استمرت الاتجاهات الحالية.

13 في المئة

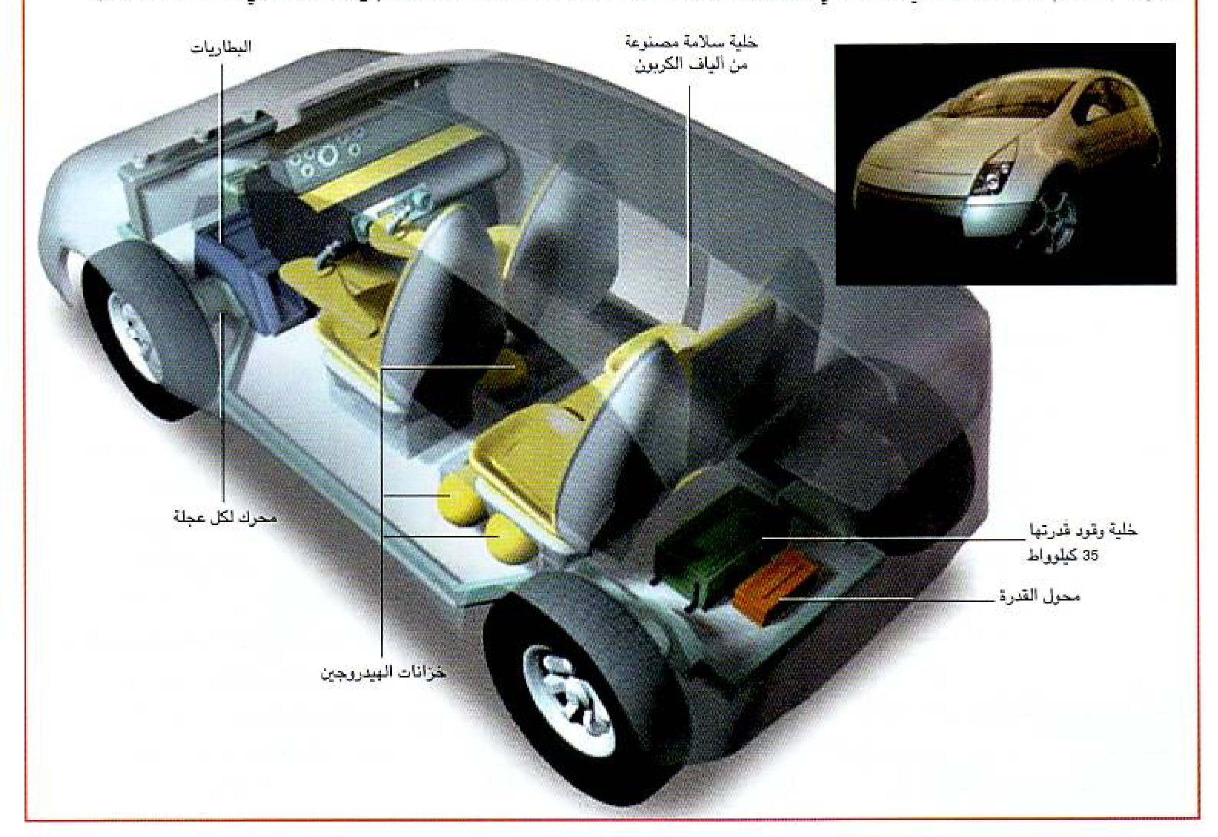
هي نسبة طاقة الوقود التي تصل إلى العجلات في السيارة.

70 بليون دولار

هي حصيلة الوفورات السنوية التي تتحقق بحلول عام 2025 من تحسين كفاءة استخدام النفط وإيجاد بدائل له.

سيارة صغيرة واقتصادية(*)

يمكن صنع سيارات فائقة الخفة وسريعة وواسعة ومأمونة وعالية الكفاءة. وهناك حاليا سيارة متوسطة الحجم متعددة الأغراض بها خمسة مقاعد تسمى ريڤوليوشن، صممت في عام 2000، لا يزيد وزنها على 857 كيلوغرام ـ أي أقل من نصف وزن سيارة تقليدية مماثلة. ومع ذلك، فإن خلية السلامة المصنوعة من ألياف الكربون توفر الحماية للركاب في حالة اصطدام السيارة بسرعة عالية بسيارة أخرى تفوقها وزنا. والسيارة مزودة بخلية وقود قدرتها 35 كيلوواط تكفي لتسييرها مسافة 350 كيلومترا على 3.4 كيلوغرام من الهيدروجين الذي تحتفظ به في خزاناتها. ويمكن لريڤوليوشن أن تبدأ من السكون وتزيد سرعتها إلى 100 كيلومتر في الساعة خلال 8.3 ثانية.



وهذا يعطي الصناعة كلها حافزا قويا على ألا تقل جرأة في ابتكارها للمواد وأساليب التصنيع عما يفعله حاليا ذلك العدد القليل من الشركات العاملة في مجال الدفع النفاث.

ويبين التحليل الذي أجراه معهد جبال الروكي أن تعميم استخدام السيارات والمباني والصناعات العالية الكفاءة، يمكن أن يقلص استخدام الولايات المتحدة المتوقع للنفط بحلول عام 2025 بمقدار 28 مليون برميل يوميا ـ أي بما يزيد على النصف، فينخفض الاستهلاك إلى المستويات التي كان عليها قبل عام 1970. وفي تصور أكثر واقعية، فإنه يمكن بالفعل تحقيق نحو نصف هذه الوفورات فقط بحلول عام 2025، لأن كثيرا من السيارات والشاحنات القديمة والأقل كفاءة ستبقى على الطرق (فحركة تجديد السيارات والشاحنات بطيئة الإيقاع). ومع ذلك، فإنه يمكن للولايات المتحدة أن تستغني كلية عن استهلاك النفط قبل حلول عام 2050، وذلك بمضاعفة كفاءة استخدام النفط والاستعاضة عنه بإمدادات وقود بديلة [*انظر الشكل في الصفحة 51*]. ويمكن أن تحقق المشاريع التجارية فوائد كبيرة بهذا التحول، لأن كل برميل من النفط يتم توفيره عن طريق تحسين الكفاءة لا يكلف سوى 12 دولارا، أو أقل من خُمس الثمن الذي يباع به النفط اليوم. وهناك نوعان من إمدادات الوقود البديلة يمكن أن ينافسا النفط بقوة حتى إذا بيع بأقل من نصف سعره الحالي. الأول هو الإيثانول المصنوع من النباتات الخشبية العشبية، مثل نجيل البراري والحور. وتعتبر الذرة حاليا المصدر الرئيسي في الولايات المتحدة للإيثانول، الذي يخلط حاليا بالغازولين، ولكن طن النباتات الخشبية ينتج ضعف ما ينتجه طن الذرة من الإيثانول، وباستثمار رأسمال أقل وكمية طاقة أقل.

البديل الثاني هو الاستعاضة عن النفط بالغاز الطبيعي الذي يحتوي بطبيعته على كربون أقل. وسيصبح هذا البديل أرخص ثمنا وأكثر وفرة عندما تقل المكاسب المحققة من رفع الكفاءة من الطلب على الكهرباء في فترات الذروة. ففي هذه الفترات تولد التوربينات التي يتم تشغيلها بالغاز الطاقة بطريقة تسبب تبديدا شديدا، حتى

(*) Alean, Mean Driving Machine

إن تقليل استهلاك الكهرباء بنسبة 1 في المئة يخفض استهلاك الولايات المتحدة من الغاز الطبيعي بنسبة 2 في المئة ويخفض سعره بنسبة 3 أو 4 في المئة. ويمكن عندئذ أن يحل الغاز الذي يتم توفيره بهذه الطريقة وبالاستخدامات الأخرى محل النفط، إما بشكل مباشر أو بتحويله إلى هيدروجين بطريقة أكثر ربحا وكفاءة.

وفوائد الاستغناء التدريجي عن النفط يمكن أن تزيد كثيرا على المبلغ الذي يقدر أنه يتم توفيره سنويا وهو 70 بليون دولار. ويمكن أن يخفض هذا التحول الانبعاثات الكربونية للولايات المتحدة بنسبة 26 في المئة مع إزالة جميع التكاليف الاجتماعية والسياسية اللازمة للحصول على النفط وإحراقه ـ كالصراع العسكري وتذبذب الأسعار والتشوهات المالية والدبلوماسية، والتلوث وما إلى ذلك. وإذا نجحت الولايات المتحدة في الاستغناء عن النفط، فليس ثمة شيء يستحق الصراع من أجله. كما أن البنتاگون سيحقق مكاسب فورية من زيادة كفاءة استخدام الطاقة، لأنه في حاجة ماسة إلى تخفيض التكاليف والحد من المخاطر المتصلة بتوفير الوقود لقواته. وكما نجحت الجهود البحثية لوزارة الدفاع الأمريكية في تحويل الصناعة المدنية باختراع الإنترنت والنظام العالمي لتحديد المواقع ، فإن عليها حاليا أن تقود عملية تطوير المواد المتقدمة الفائقة الخفة.

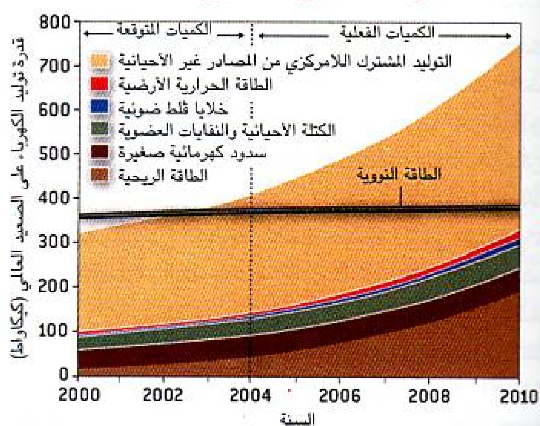
بل إن الانتقال إلى اقتصاد متحرر من هيمنة النفط[1] سوف يتم بمعدل أسرع مما تنبأ به معهد جبال الروكي إذا توقف صانعو السياسات عن تشجيع أنماط التنمية السيئة التي تجعل الناس يستخدمون سياراتهم كثيرا. وإذا لم تسمح الحكومات على المستوى الاتحادي ومستوى الولاية والمستوى المحلي بالتوسع العشوائي للضواحي ودعمه ماليا، فسوف يكون بوسع الكثيرين منا أن يعيشوا في مناطق يتوافر فيها كل ما نريده تقريبا على مسافة قريبة لا تزيد على خمس دقائق سيرا على الأقدام. وفضلا عن توفير الوقود، فإن هذا النمط الحضري الجديد ينشئ مجتمعات محلية أكثر تماسكا، ويزيد من دخل شركات الإنشاء، كما أنه أقل ضررا بكثير من الوسائل الأخرى التي ترمي إلى الحد من حركة مرور السيارات (كالضرائب الباهظة التي تفرضها سنغافورة على الوقود والسيارات لتجنب حدوث اختناقات مرورية مماثلة لما يحدث في بانكوك).

طاقة متجددة[*]

تقل تكلفة تحسين الكفاءة التي يمكن أن توفر معظم الكهرباء التي نستهلكها عن التكلفة التي تدفعها المرافق الآن للحصول على الفحم، الذي يولد نصف الطاقة في الولايات المتحدة و 38 في المئة من الانبعاثات الكربونية الناتجة من الوقود الأحفوري. إضافة إلى ذلك، ففي السنوات الأخيرة بدأت تتزايد بدائل محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالفحم والتي تشمل مصادر الطاقة المتجددة

توربينات الرياح في ألمانيا.

بدائل توليد الكهرباء



تفوقت المصادر اللامركزية لتوليد الكهرباء ـ التوليد المشترك (الإنتاج المشترك للكهرباء والحرارة، من الغاز الطبيعي عادة) والمصادر المتجددة (كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح) ـ على الطاقة النووية في قدرة التوليد على الصعيد العالمي في عام 2002. وسوف يزيد الناتج السنوي لهذه المصادر ذات الكربون المنخفض أو الخالية من الكربون على الناتج السنوي للطاقة النووية هذا العام (2005).

(*) Renewable Energy
(1) oil-free economy

كالرياح والطاقة الشمسية، ومحطات التوليد المشترك اللامركزية التي تنتج الكهرباء والحرارة معا في البنايات والمصانع. وعلى الصعيد العالمي، تفوق قدرة التوليد الجماعية لهذه المصادر قدرة المحطات الكهرنووية كما تفوقها في معدل النمو بأكثر من ستة أضعاف [*انظر الشكل في الصفحة 41*]. وزاد من أهمية هذا الاتجاه أن المولدات اللامركزية تواجه عقبات كثيرة تحول بينها وبين المنافسة العادلة. وعادة ما تحصل على دعم مالي يقل كثيرا عما تحصل عليه محطات الطاقة المركزية التي تعمل بالفحم أو المحطات النووية.

ربما كانت طاقة الرياح هي أوفر أنواع الطاقة حظا من النجاح. فالإنتاج الكمي والهندسة المحسنة وفّرا توربينات رياح حديثة كبيرة (تولد الواحدة منها ما يراوح بين 2 و 5 ميغاواط)، شديدة الموثوقية، وتراعي البيئة إلى حد كبير. وتحصل الدانمرك فعلا على خُمس احتياجاتها من الكهرباء المولَّدة من الرياح، في حين تحصل ألمانيا على عُشْر احتياجاتها من الكهرباء منها. وتزيد كل من ألمانيا وإسبانيا إنتاجها من طاقة الرياح بمعدل 2000 ميگاواط كل عام، وتهدف أوروبا إلى الحصول على 22 في المئة من احتياجاتها من الكهرباء و 12 في المئة من طاقتها الإجمالية من المصادر المتجددة بحلول عام 2010. وعلى العكس من ذلك، فإن المتوقع أن تظل قدرة توليد الطاقة النووية العالمية عند مستواها الحالي، ثم تتراجع.

وقد تبين أن الانتقاد الأكثر شيوعا لطاقة الرياح ـ وهو أن إنتاجها للكهرباء يكون غير منتظم بدرجة كبيرة، ليس عيبا مستعصيا. ففي بعض مناطق أوروبا التي تحصل على جميع احتياجاتها من الطاقة من الرياح في بعض الأيام، تغلبت مرافق الطاقة على المشكلة بتنويع مواقع توربينات الرياح، والاستفادة من الأرصاد الجوية الخاصة بالرياح في خططها لتوليد الكهرباء وتحقيق التكامل بين الكهرباء المولدة من الرياح والكهرباء المولدة بالقوة المائية ومصادر الطاقة الأخرى. وبشكل خاص، فإن طاقة الرياح والطاقة الشمسية يمكن أن تعملا معا بصورة جيدة، ويرجع ذلك جزئيا إلى أن الظروف الجوية التي لا تلائم الرياح (الجو الهادئ المشمس) تلائم الطاقة الشمسية، والعكس صحيح. والواقع أنه يمكن بالتنسيق السليم بين مرافق طاقة الرياح ومرافق الطاقة الشمسية الاعتماد على هذه المرافق أكثر مما يمكن الاعتماد على محطات الطاقة التقليدية ـ فهي تصمم على هيئة نماذج قياسية صغيرة (توربينات رياح، خلايا شمسية) فيقل احتمال توقفها جميعها عن العمل في وقت واحد، كما أن تكاليفها لا تتذبذب بتذبذب أسعار أنواع الوقود الأحفوري. ويضاف إلى ذلك أن احتمال وقوع هجوم إرهابي على مفاعل نووي أو محطة لتصدير نفط يزيد كثيرا على احتمال وقوع هجوم على مزرعة للرياح أو صفيف من ألواح الطاقة الشمسية.

وأهم من ذلك كله، أن الطاقة المتجددة تتميز برخص الثمن. ففي سنة 2003، كان سعر الكهرباء المولدة من طاقة الرياح في الولايات المتحدة هو 2.9 سنت للكيلوواط/ساعة. وتدعم الحكومة الفيدرالية طاقة الرياح بمنح إعفاء للإنتاج، ولكن الثمن حتى بدون هذا الدعم ـ والذي يصل إلى 4.6 سنت للكيلوواط/ساعة ـ يعتبر أقل من سعر الطاقة المدعومة التي تنتجها المحطات الجديدة التي تعمل بالفحم أو بالطاقة النووية. (الدعم المالي المقدم لطاقة الرياح هو دعم مؤقت وافق الكونغرس عدة مرات على إلغائه، أما الدعم المالي الذي يقدم لصناعات الطاقة النووية والوقود الأحفوري فهو دعم أكبر ودائم). كما أن طاقة الرياح وفيرة؛ فمزارع الرياح التي لا تشغل إلا نسبة ضئيلة من الأراضي المتاحة في ولايتي داكوتا يمكن أن تلبي احتياجات أمريكا كلها من الكهرباء بطريقة تتميز بفعالية التكلفة. ومع أن تكلفة الكيلوواط/ساعة من طاقة الخلايا الشمسية تزيد حاليا على تكلفة الكيلوواط/ساعة من الطاقة الريحية، فإنها يمكن أن تحقق ربحا إذا ما جعلت هذه الخلايا جزءا من المبنى، بحيث توفر تكلفة المواد التي تصنع منها الأسقف. وفوق سطوح المباني التجارية الكبيرة ذات الأسقف المسطحة يمكن للخلايا الشمسية أن تدخل المنافسة بغير دعم إذا اقترنت باستخدام رشيد يسمح لصاحب المبنى بأن يبيع فائض الطاقة عندما تكون في أحسن حالاتها من حيث وفرتها وقيمتها ـ في الأيام المشمسة. كما أن الطاقة الشمسية هي عادةً أرخص طريقة للحصول على الكهرباء لبليوني شخص، معظمهم في الدول النامية، لا تتوافر لهم إمدادات الكهرباء. ولكن حتى في البلدان الغنية يمكن لمنزل بنفس كفاءة منزلي أن يحصل على جميع الكهرباء التي يحتاج إليها من عدة أمتار مربعة فقط من الخلايا الشمسية، التي تقل تكلفة تركيبها عن تكلفة التوصيل بخطوط المرفق القريبة.

علاج أقل تكلفة(*)

يمكن بعمليات معقولة التكلفة لرفع الكفاءة وبمصادر الطاقة المتجددة القادرة على المنافسة عكس اتجاه التغير المناخي الضار الذي تتضاعف سرعته بطريقة أسية مع تزايد سرعة إحراقنا للوقود الأحفوري. وزيادة الكفاءة، إذا ما أوليت العناية الكافية، يمكن أن تسبق النمو الاقتصادي. فبين سنتي 1977 و 1985، مثلا، زاد الناتج المحلي الإجمالي في الولايات المتحدة بنسبة 27 في المئة، في حين انخفض استخدام النفط بنسبة 17 في المئة (وخلال الفترة نفسها، انخفضت واردات النفط بنسبة 50 في المئة، وشهدت واردات الخليج العربي هبوطا حادا بلغ 87 في المئة). وكان من المألوف أن تسبق زيادة مصادر الطاقة المتجددة الزيادة في الناتج المحلي الإجمالي. وعلى الصعيد العالمي، تتضاعف الطاقة الشمسية كل سنتين، في حين تتضاعف طاقة الرياح كل ثلاث سنوات. وإذا زادت الكفاءة والمصادر المتجددة بسرعة أكبر من سرعة النمو الاقتصادي فسوف تنخفض الانبعاثات الكربونية ويتباطأ ارتفاع درجة حرارة الأرض،

(*) Cheaper to Fix

مما يتيح وقتا أكبر لتطوير تقانات أفضل للاستعاضة عما بقي من استخدام الوقود الأحفوري (المستحاثي) أو لإيجاد طرائق للسيطرة على الكربون الناتج من الاحتراق وتعميمها قبل أن يصل إلى الغلاف الجوي [انظر: «*هل يمكننا دفن الاحترار العالمي؟*»، **العلوم**، العددان 11/10 (2005)، ص 44].

وعلى العكس من ذلك، فإن الطاقة النووية هي حل أبطأ وأعلى تكلفة. فإنتاج كيلوواط/ ساعة من الكهرباء من محطة نووية جديدة يتكلف ثلاثة أضعاف ما يتكلفه توفير كيلوواط واحد بوسائل رفع الكفاءة. ومن ثم، فإن كل دولار ينفق على رفع الكفاءة سوف يتيح الاستعاضة عن ثلاثة أضعاف كمية الفحم المكافئة لما سينفق على إنتاج الطاقة الكهرنووية. كما أنه يمكن الاستفادة من تحسينات الفعالية بسرعة أكبر، لأن بناء المفاعلات يستغرق وقتا طويلا. كما أن تحويل الاستثمارات العامة والخاصة من استثمارات رابحة في السوق إلى استثمارات خاسرة لا يشوه الأسواق ويضع رؤوس الأموال في غير موضعها فحسب، بل إنه يؤدي أيضا إلى تفاقم مشكلة احترار المناخ بقبول حل أقل فاعلية.

أما الأخبار الجيدة المتعلقة باحترار الأرض فهي أن تكلفة معالجة هذا الاحترار تقل عن تكلفة تجاهله. ولأن تحقيق وفورات في الطاقة عملية مربحة، فإن الاستخدام الفعال يلقى رواجا في السوق. ويقدر <S. لايتنر> [الخبير الاقتصادي في الوكالة الأمريكية لحماية البيئة] أنه في الفترة من 1996 إلى منتصف عام 2005 أدت الاختيارات الحكيمة للأعمال التجارية والمستهلكين، مع التحول إلى اقتصاد أكثر اعتمادا على المعلومات والخدمات، إلى تخفيض متوسط استخدام الطاقة في الولايات المتحدة لكل دولار في الناتج المحلي الإجمالي بنسبة 2.1 في المئة سنويا – وهو معدل يبلغ نحو ثلاثة أضعاف المعدل الذي تحقق خلال السنوات العشر السابقة. وقد أتاح هذا التحول تلبية 78 في المئة من الزيادة في الطلب على خدمات الطاقة في السنوات العشر الماضية (وتمت تلبية الجزء المتبقي عن طريق زيادة كميات الطاقة المعروضة). وقد حققت الولايات المتحدة هذا التقدم من دون الاستعانة بأي فتوح تقانية كبرى أو سياسات وطنية جديدة. وقد نشأت مشكلة المناخ بسبب مئات القرارات غير الصائبة على مدى عشرات السنين، غير أنه يمكن إعادة الاستقرار إلى المناخ بملايين من الاختيارات الحكيمة ـ كشراء مصباح أو سيارة أكثر كفاءة، أو إضافة طبقة عازلة لسقف منزلك أو سد الشقوق فيه، أو إلغاء صور الدعم المالي التي تفضي إلى التبديد، ومكافأة من يحقق النتائج المرغوبة (مكافأة المعماريين والمهندسين، مثلا، على تحقيق وفورات وليس على زيادة النفقات).

والدور الصحيح الذي يتعين على الحكومات الاضطلاع به هو التوجيه، وليس الانخراط في التنفيذ، غير أن المسؤولين ظلوا لسنوات يوجهون سفينة طاقتنا الوجهة الخاطئة. والسياسة التي تتبعها الولايات المتحدة حاليا تجاه الطاقة تلحق الضرر بالاقتصاد والمناخ برفض مبادئ السوق الحرة واللجوء إلى المحاباة فيما يتعلق بالتقانات. وأفضل أسلوب هو إتاحة فرصة عادلة وشريفة لكل طريقة من طرائق إنتاج الطاقة أو توفيرها، بغض النظر عن نوع الاستثمار الذي تمثله، أو التقانة التي تستخدمها أو حجمها أو شخصية مالكها. وعلى سبيل المثال، فإن عددا قليلا من السلطات هي التي تسمح لمصادر الطاقة اللامركزية كصفيفات الألواح الشمسية التي تركب فوق السطوح أن تعمل بمجرد توصيلها بالشبكة الكهربائية بالصورة المأمونة التي تتيحها المعايير التقنية الحديثة. ومع أن 31 ولاية أمريكية تسمح باستخدام نظام عداد الشبكة ـ فإن المرفق يشتري منك الطاقة بنفس سعر بيعها لك ـ فيقيد هذه المنافسة أو يشوهها تشويها شديدا مفتعلا. ولكن أكبر عقبة منفردة أمام زيادة فعالية الكهرباء والغاز هي أن معظم البلدان وجميع الولايات الأمريكية، باستثناء كاليفورنيا وأوريغون، تكافئ مرافق التوزيع على بيع المزيد من الطاقة وتعاقبها على تخفيض قيمة فواتير الاستهلاك لعملائها. ومن حسن الحظ، أن هذه المشكلة حلها سهل: يتعين على صانعي القرارات في الولايات تنظيم الحوافز بالفصل بين الأرباح ومبيعات الطاقة، ثم السماح للمرافق بالاحتفاظ ببعض الوفورات التي تتحقق من تخفيض قيمة فواتير الطاقة.

لايزال الإقبال على دخول مضمار إنتاج السيارات الفائقة الكفاءة يتسم بالبطء في ديترويت، حيث لم تكن الميزانيات ولا القيادات تساند الابتكارات الجديدة. كما أن الولايات المتحدة تفرض ضرائب ضئيلة على الغازولين ولكنها تقدم دعما ماليا ضخما لإنتاجه، فتجعله أرخص ثمنا من الماء المعبأ في زجاجات. ومع ذلك، فإن زيادة الضرائب على الوقود قد لا تكون أفضل الحلول: ففي أوروبا تؤدي الضرائب المرتفعة ـ التي تجعل أسعار الغازولين في بلدان كثيرة تصل إلى 4 أو 5 دولارات للغالون ـ إلى الحد من قيادة السيارات أكثر مما تزيد من كفاءة السيارات الجديدة، لأن تكاليف الوقود تتضاءل أمام النفقات الأخرى لأصحاب السيارات، ثم تتعرض بعد ذلك لانخفاضات حادة (فمعظم الأشخاص الذين يشترون السيارات لا يحسبون قيمة وفورات الوقود إلا في السنوات الأولى). وقد ساعدت المعايير الفدرالية التي طبقت في السبعينات من القرن الماضي على رفع كفاءة استهلاك الوقود في السيارات والشاحنات الخفيفة الجديدة من 16 ميلا للغالون في عام 1978 إلى 22 ميلا للغالون في عام 1987، ولكن المتوسط انخفض إلى 21 ميلا للغالون منذ ذلك الوقت. وتتوقع الحكومة أن تقضي صناعة السيارات السنوات العشرين القادمة في زيادة كفاءة السيارات على ما كانت عليه في عام 1987 بنحو 0.5 ميل للغالون فقط. وإضافة إلى ذلك، يمقت صانعو السيارات هذه المعايير باعتبارها تمثل قيدا على الاختيار، وقد أصبحوا بارعين في التلاعب بالنظام عن طريق بيع المزيد من السيارات المصنفة كشاحنات خفيفة، وهي مركبات مسموح بأن تكون أقل كفاءة في استخدام الوقود من السيارات (بل إن أقل الشاحنات الخفيفة كفاءة تحصل على دعم مالي خاص).

وأنجع استجابة في مجال السياسات هو فرض رسوم على السيارات الجديدة المنخفضة الكفاءة، ورد إيرادات هذه الرسوم في صورة مبالغ تدفع لمن يشترون السيارات العالية الكفاءة. وإذا ما

التتمة في الصفحة 51

طاقة كبيرة كامنة في مزارع صغيرة(*)

يمكن لمزارعي الدول النامية، بالاستعانة بوسائل الري المتاحة ووصولهم إلى الأسواق، زراعة المزيد من المحاصيل الغذائية والتغلب على الفقر.

<P. پولاك>

كان <بيتر ميويت> [وهو شاب من زيمبابوي نحيل في العشرينات من عمره] منشغلا بتعشيب مزرعته الصغيرة المخصصة للخضار في مستوطنة «ماري ماري» عندما التقيته عام 2002. وقد أحيطت المزرعة ومساحتها مئة متر مربع، وهي تساوي نحو مساحة حديقة خلفية لمنزل في الضواحي، بسياج ارتفاعه متران من أعمدة قوية قطعت من الشجيرات (الأجمات) وربطت ببعضها لتمنع دخول الحيوانات البرية والأليفة إلى المزرعة. عاش <بيتر> مع والده وأخيه الذي يبلغ من العمر 19 عاما، أما والدته فقد توفيت مصابة بمرض نقص المناعة المكتسب (الايدز)، وأخاه الشاب يحتضر بسبب إصابته بهذا المرض. وكي يتمكن <بيتر> من إعالة أسرته وتحقيق دخل مقبول بعدد قليل من الأيدي العاملة اللازمة للنهوض بالعمل، قام بتركيب مجموعة للري بالتنقيط رخيصة الثمن زوّدته بها المؤسسة الدولية للتنمية (IDE)، التي أسستُها (المؤلف) عام 1981.

تتكون مزرعة <بيتر> من ثمانية مساكب زُرعت بإتقان بالخضار الورقية واللفت والملفوف والذرة الصفراء. وقد وُضِع في وسط كل مزرعة أنبوب قابل للنقل ومثقب للري بالتنقيط يستمد الماء من خزان بلاستيكي سعته 40 لترا، ثُبِّتَ بقاعدة خشبية. ونظرا لأن نظام الري بالتنقيط قد أمَّن وصول الماء مباشرة إلى الجذور، فقد كان أكثر كفاءة في ري النباتات من استخدام الدلاء. ونتيجة لاستخدام هذا النظام في الري، فقد أنتجت المزرعة الصغيرة ما يكفي من الذرة الصفراء والخضار الورقية لتلبية معظم احتياجات الأسرة، وتوقع <بيتر> أن يحقق دخلا من بيع الفائض لا يقل عن تسعين دولارا أمريكيا، ويعد هذا دخلا كبيرا بالنسبة إلى مزارع في زيمبابوي. وقد أخبرني <بيتر> أنه يخطط لمضاعفة مساحة مزرعته في السنة التالية وزيادة دخله ثلاث مرات من خلال استبدال محاصيل ذات قيمة تسويقية أكبر مثل البندورة (الطماطم) والبطاطا الايرلندية بالخضار الورقية. وقد خطط أيضا لزيادة إنتاجية مزرعته عن طريق التسميد. ونظرا لعدم قدرته على تحمل أعباء تكاليف الأسمدة الكيميائية، فقد عمد إلى غمر بالة مملوءة بروث البقر في برميل ماء، وإضافة المحلول العضوي الناتج (شاي الروث) إلى جذور محاصيله الخضرية عن طريق نظام التنقيط.

وخلال العقود الثلاثة الماضية تحدثتُ إلى الآلاف من صغار مزارعي الدول النامية، وتبين بشكل لافت للنظر تشابه أسلوب حياتهم مع أسلوب حياة <بيتر>. فهم قادرون على زيادة دخلهم بنحو 500 دولار أمريكي في العام من خلال تكثيف زراعتهم لحيازات بمساحة 1000 متر مربع (ربع فدان) بأشجار الفاكهة والخضراوات، إذا تمكنوا من تحسين طرق الزراعة، واعتماد نظم ري رخيصة، والوصول إلى الأسواق لتصريف منتجاتهم. إن معاناتهم هي جزء من التحدي العالمي الشامل، حيث يتحتم على مزارعي العالم بحلول عام 2050 تأمين المتطلبات الغذائية لتسعة بلايين نسمة (أي بزيادة قدرها ثلاثة بلايين على عدد سكان العالم الحالي)، وذلك من دون زيادة تذكر في مساحة الأرض أو المياه المسخرة للزراعة. وقد برز الماء بشكل خاص عاملا مهما في زيادة إنتاج المزارع وتخفيف وطأة الفقر، حيث يلزم نحو ألف لتر من الماء لإنتاج كيلوغرام واحد من الحبوب. ويتحتم علينا تخزين المزيد من مياه الري وإدارة أفضل للموارد المائية المتاحة.

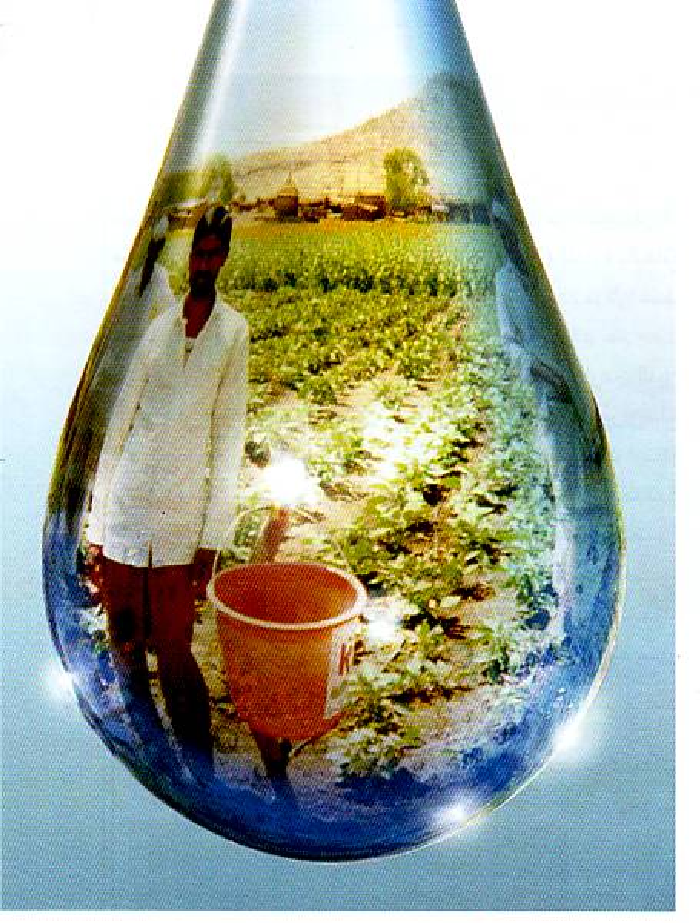
وحتى الآن فقد حاولت الحكومات ووكالات التنمية التغلب على المشكلة من خلال إقامة مشروعات واسعة النطاق تتضمن سدودا ضخمة، وقنوات ممتدة لري حقول واسعة جديدة بمحاصيل عالية الإنتاج، وذلك خلال حقبة الثورة الخضراء، الحملة الشهيرة لزيادة إنتاج الحبوب في الدول النامية. لقد أدى الري التقليدي إلى تدهور التربة في مناطق عديدة، وسرعان ما تراكم السلت والطين في خزانات المياه خلف السدود ما أدى إلى تخفيض سعتها التخزينية، وفي الوقت نفسه حرم المزارعين أمام هذه السدود من الاستفادة من الرواسب الخصبة. إضافة إلى ذلك، ومع أن الثورة الخضراء أدت إلى زيادة كبيرة في الإنتاج الزراعي العالمي منذ عام 1950، فإن مشكلة الفقر بقيت قائمة في إفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية. إن للتحسينات المستمرة في إنتاجية المزارع الكبيرة دورا رئيسيا في زيادة مصادر الغذاء في العالم، غير أن الجهود المحلية لتوفير نظم ري رخيصة للمزارع الصغيرة يمكن أن تؤمن وسيلة أفضل لانتشال السكان من الفقر.

المضخة القدمية المدهشة(**)

ومن بين جميع الأنشطة البشرية، فإن للزراعة البصمة الكبرى على وجه الأرض. ويذهب نحو 70% من الماء المخصص للاستهلاك البشري الآن للاستثمار الزراعي، ويستثمر نحو 19% في الصناعة، و 9% للاستهلاك المنزلي، والجزء المتبقي يفقد بالتبخر

(*) THE BIG POTENTIAL OF SMALL FARMS

(**) The Amazing Treadle Pump



يعد الري القليل التكلفة العامل الأساس للحد من الفقر الريفي والجوع في الدول النامية. ففي ولاية «ماهارا اشترا» الهندية، يطبق المزارعون نظاما رخيصا للري بالتنقيط لإيصال الماء إلى حقول عباد الشمس والخضار.

من الخزانات المختلفة. وفي طليعة إنجازات الثورة الخضراء زيادة مساحة الأراضي المروية في العالم، التي زادت من 100 مليون هكتار في عام 1950 إلى 276 مليون هكتار (الهكتار = 10 000 متر مربع أو نحو 2.5 فدان). لقد أدت القفزة الكبيرة في الإنتاج إلى خفض أسعار المواد الغذائية وأسهمت بدورها في الحد من العوز بين شريحة (نسبة) كبيرة من المزارعين الفقراء وقاطني المدن. غير أن هذا الإنجاز قد ضاع بسبب التزايد السكاني الكبير. فقد انخفض عدد السكان الذين يعيشون في مستوى من الفقر (دولار واحد في اليوم أو أقل) من 1.22 بليون إلى 1.09 بليون شخص خلال الفترة ما بين عامي 1990 و 2001. غير أن عدد السكان الذين يكسبون أقل من دولارين يوميا ارتفع من 2.65 بليون إلى 2.7 بليون شخص. لقد كان المسار أكثر إيلاما في الصحراء الإفريقية، حيث قفز عدد السكان الذين يعيشون تحت عتبة الفقر المدقع من 227 مليونا إلى 313 مليون نسمة.

هدفت الثورة الخضراء إلى زيادة مصادر الغذاء بشكل عام، وليس إلى زيادة دخل الفقراء الريفيين، ومن ثم فمن غير المستغرب أنها لم تستأصل الفقر أو الجوع في تلك المناطق. فالهند، على سبيل المثال، كانت مكتفية غذائيا منذ 15 عاما ومخازنها ممتلئة، غير أن ما يربو على 200 مليون هندي، أي نحو خمس سكان الهند، يعانون سوء التغذية، لأنه ليس في مقدورهم شراء الطعام الذي يحتاجون إليه ولأن شبكات الأمن الغذائي في الهند غير كفؤة. وفي عام 2000 تعهدت 189 دولة بأهداف الألفية للتطوير Millennium Development Goals من أجل تخفيض الفقر العالمي إلى النصف بحلول عام 2015، وفي زحمة الأعمال هناك أمل ضعيف في تحقيق معظم أهداف الألفية، بغض النظر عما ستسهم فيه الدول الغنية من أموال للدول الفقيرة.

سئل الباحث الزراعي الأمريكي <N. بورلاك> [الحائز جائزة نوبل للسلام عام 1970 لإسهاماته في الثورة الخضراء] مؤخرا عما يجب على الدول الغنية عمله لتخفيف الجوع في العالم. فقال إنه يجب عليهم إرسال الغذاء في حالات الطوارئ، غير أن الحل الطويل الأمد يتمثل في **التغيير الجذري** Revolutionizing لأسلوب الإنتاج الزراعي، خاصة لدى المزارعين الفقراء في الدول النامية. إن هذه الخطة لن تسهم في زيادة مصادر الغذاء فحسب وإنما ستعمل على إيجاد فرص عمل وتوليد مصادر دخل ناجمة عن بيع الفائض من الحبوب.

إن الاستراتيجيات المعتمدة على تعزيز الإنتاج في الثورة الخضراء ربما لا تساعد المزارعين الفقراء، الذين ينبغي لهم بذل جهد هائل للمنافسة في الأسواق العالمية. وبينما لا يزيد متوسط مساحة مزرعة الأسرة الهندية على 4 أفدنة، فهي تبلغ 1.8 فدان في بنغلاديش، ونحو نصف فدان في الصين. وتعتبر **الحصّادة الدرّاسة** Combines وآلات المزرعة الحديثة باهظة الثمن عند استخدامها في مثل هذه المزارع الصغيرة. فالمزارع الهندي الذي يود بيع فائض إنتاجه من القمح المتحصل من حقله ذي الفدان الواحد لا يتمكن من منافسة آلاف الأفدنة من مزارع القمح الكندية المدعومة والعالية الكفاءة. وبدلا من ذلك فإن على المزارعين الفقراء حيث الأيدي العاملة هي الأرخص عالميا، التوجه نحو الزراعة المكثفة للمحاصيل العالية القيمة.

لقد رأيت للمرة الأولى الحاجة إلى استراتيجية الحيازات الصغيرة في عام 1981 عندما التقيت السيد <عبد الرحمن>، وهو مزارع من مقاطعة نو كهالي في بنغلاديش، فمن حقوله البعلية الصغيرة الثلاثة التي تبلغ مساحة كل منها 3/4 فدان، حصل <عبد الرحمن> على 700 كغم فقط من الأرز سنويا. وهذا أقل بـ300 كغم عما يحتاج إليه لإطعام أسرته. وعلى مدى ثلاثة أشهر قبل موسم حصاد الأرز في الشهر 10، كان على <عبد الرحمن> وزوجته الترقب بصمت بينما يقتات أولادهم الثلاثة على وجبة واحدة أو أقل في اليوم. وحينما كنت أتمشى معه في حقوله المبعثرة والتي ورثها عن أبيه، سألته عما يحتاج إليه كي يتخلص من كابوس الفقر، فكان يجيب: السيطرة على الماء اللازم لمحاصيلي وتأمينه بثمن يمكنني تحمله.

وبعد ذلك بمدة قصيرة أخبرت بوجود آلة بسيطة يمكن أن

تساعد <عبد الرحمن> على تحقيق هدفه وهي **المضخة القدمية** treadle pump. لقد صمم هذه الآلة في أواخر سبعينات القرن العشرين المهندس النرويجي <G. بارنس>، وهي تعمل (تدار) من قبل شخص يتحرك في مكانه على دواستين مصنوعتين من الخيزران أو من مواد متوافرة محليا. ويمكن لهذه الآلة (المضخة) المدارة بالطاقة البشرية أن تسقي نصف فدان من الخضراوات بتكلفة 25 دولارا فقط، بما فيها تكاليف حفر بئر أنبوبية إلى المياه الجوفية. وقد علم <عبد الرحمن> بهذه المضخة القدمية من ابن عمه، وكان أول المزارعين الذين اشتروا هذه المضخة في بنغلاديش. لقد اقترض <عبد الرحمن> مبلغ الـ 25 دولارا من خاله، وتمكن من تسديد دينه بيسر بعد أربعة أشهر. وخلال موسم الجفاف في بنغلاديش الذي يمتد خمسة أشهر، لا يزرع خلالها إلا القليل، استخدم <عبد الرحمن> المضخة القدمية لزراعة 1/4 فدان بالفليفلة الحارة والبندورة (الطماطم) والملفوف والباذنجان. وتمكن من زيادة إنتاج الأرز من أحد حقوله عن طريق الزراعة المروية. لقد استهلكت أسرته جزءا من الخضار المنتجة وباع الباقي في سوق القرية محققا ربحا صافيا بحدود 100 دولار أمريكي. واستطاع <عبد الرحمن> من خلال دخله الجديد شراء الأرز اللازم لإطعام أسرته، وإبقاء ولديه في المدرسة حتى عمر الـ 16 سنة، إضافة إلى ادخار جزء من المال مهرا لزواج ابنته. وعندما زرته ثانية عام 1984، وجدت أنه ضاعف مساحة حقل الخضار الذي يزرعه إضافة إلى تحويل سقف بيته المصنوع من القش إلى آخر من التوتياء المموج، وامتلاكه عجلا وبعض الدجاج. لقد قال لي <عبدالرحمن> بأن المضخة القدمية كانت هبة من الله.

تناسب المضخة القدمية بشكل جيد بلدا مثل بنغلاديش، وذلك لوجود احتياطي كبير من المياه الجوفية على عمق أمتار قليلة تحت أقدام المزارعين. وفي بداية الثمانينات من القرن العشرين قامت المنظمة IDE بحملة لتسويق هذه المضخة، بتشجيع 75 شركة صغيرة من شركات القطاع الخاص على تصنيع هذه الآلة، إضافة إلى عدة آلاف من تجار القرى (التجار الريفيين) وحفاري الآبار الأنبوبية لبيع هذه المضخات وتركيبها. وخلال الـ12 عاما التالية اشترت نحو مليون ونصف عائلة زراعية هذا النوع من المضخات، ما أدى إلى زيادة في إجمالي دخل المزارعين الصافي قدرها 150 مليون دولار سنويا. وقد بلغت تكلفة تسويق المضخة من قبل المنظمة IDE نحو 12 مليون دولار فقط، إضافة إلى استثمارات المزارعين أنفسهم البالغة نحو 37.5 مليون دولار. وفي المقابل فإن تكلفة بناء سد تقليدي ومنظومة قنوات الري الملحقة به اللازمة لري مساحة نظيرة من الأرض الزراعية ستكون بحدود 2 000 دولار أمريكي للفدان أو 1.5 بليون دولار.

لقد أثبتت المضخة القدمية، ضمن سياق تخفيف الفقر، تفوقها على نظم الري الأخرى الأكثر تقدما من الناحية التقنية. فعلى سبيل المثال، قدم البنك العالمي World Bank، منذ بداية سبعينات القرن العشرين قروضا ميسَّرة، ما ساعد حكومة بنغلاديش على استيراد مضخات تعمل على المازوت (الديزل) للآبار العميقة، وقد استخدمت هذه التقنية في ولاية نبراسكا لسحب الماء من الأحواض المائية في أوكالالا. وقد بلغت تكلفة نظام الري الواحد نحو 15 ألف دولار لري 40 فدانا، وقدمت حكومة بنغلاديش نظم الري هذه مجانا للمزارعين. كما سمح برنامج قرض آخر لحكومة بنغلاديش باستيراد 10 آلاف مضخة ديزل للآبار السطحية، بلغت تكلفة كل منها نحو 900 دولار، وتؤمن ري 12 فدانا. وقد قوم خبراء البنك العالمي هذا البرنامج من البرامج الناجحة، وذلك لأنه قرَّب دولة بنغلاديش من الاكتفاء الذاتي في إنتاج محصول الأرز، غير أن نفاد الدعم الحكومي، أدى إلى تخلي المزارعين عن معظم الآبار العميقة بسبب تكلفة تشغيلها الباهظة، وبقيت الآبار السطحية شائعة الاستخدام بين كبار المزارعين الأغنياء الذين أصبحوا **سادة المياه** Water lords، ما أدى إلى خروج العديد من صغار المزارعين من العمل في هذا المجال.

لقد بلغت تكلفة إرواء فدان واحد 375 دولارا باستخدام مضخات الديزل العميقة، و133 دولارا باستخدام مضخات الديزل

مفترق طرق أمام
الزراعة والمياه(*)

المشكلة:

- على الرغم من أن الثورة الخضراء زادت غلة الحبوب العالمية بشكل ملموس، فقد ظلت مشكلة الجوع والفقر عصية على الحل في إفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية. والمزارعون الذين يستثمرون مزارع صغيرة في أراض هامشية لا يمكنهم إنتاج غذاء كاف لأسرهم.
- في الصحراء الإفريقية فقط، يعيش ما يربو على 300 مليون إنسان على دخل يومي يعادل دولارا أمريكيا واحدا أو أقل. وفي الهند يعاني أكثر من 200 مليون نسمة من سوء التغذية.

الخطة:

- إن التحسين المستمر في إنتاجية المزارع الواسعة، سيؤدي إلى زيادة الإنتاج الغذائي بشكل عام، غير أن الجهود يجب أن تتركز على زيادة دخل صغار المزارعين في العالم.
- إن استخدام نظم الري الفردية القائمة على تجهيزات رخيصة كأنابيب الري بالتنقيط والخزانات يمكن أن يزيد بشكل كبير إنتاج المزارع الصغيرة. فإذا ما قام المزارعون بزراعة محاصيل عالية القيمة مثل البندورة (الطماطم) والفليفلة، فإن بإمكانهم زيادة دخلهم بنحو 500 دولار أمريكي سنويا.

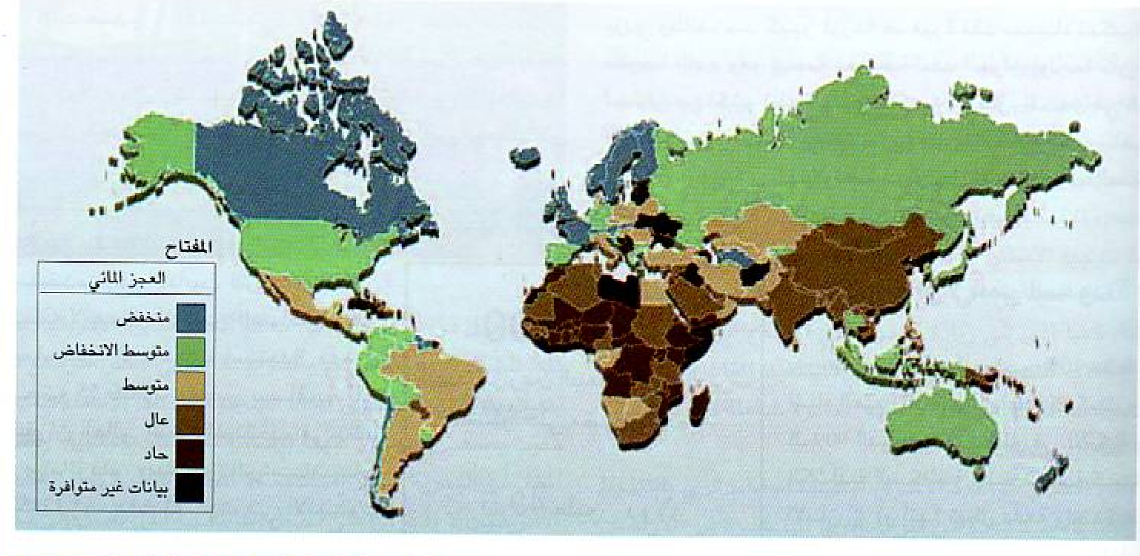


زراعة محاصيل قابلة للتسويق.

(*) Crossroads for Agriculture and Water

الماء والفقر(*)

نظرا لكون الماء عنصرا حيويا في الزراعة، أضحى نقصه أحد أهم أسباب الفقر في الدول النامية. طور الباحثون في مركز البيئة والهيدرولوجيا في ولينكفورد بالمملكة المتحدة دليلا يبين آثار الشح المائي (نقص المياه أو ندرتها) من خلال ربط المعلومات عما هو متوافر ومتاح من المياه باستعمالات المياه ونوعيتها. تقع معظم البلدان الأكثر فقرا بالمياه في الصحاري الإفريقية، غير أن المشكلة أضحت أيضا ملحة في الصين والهند وبنغلاديش.



يؤثر شح المياه أو ندرتها بأقوى صورة له في صغار المزارعين، الذين يتحتم على معظمهم تحمل شظف العيش في مناطق شبه جافة بعيدا عن الآبار أو خزانات المياه. إن نحو نصف جياع العالم هم مزارعون يعملون في حقول صغيرة من الأرض، و20% آخرون هم عمال زراعيون بلا أرض ويقطنون المناطق الريفية.

من هم الجياع؟




زراعة حقل صغير

السطحية، و66 دولارا فقط باستخدام المضخات القدمية، منها 50 دولارا من المزارعين أنفسهم. وبالتركيز على خلق سوق مستدامة، فقد حقق مشروع المضخات القدمية دخلا أعلى مع آثار أقل على البيئة. والحاجة ملحة إلى مقاربة مشابهة لمعالجة مشكلة التلوث الطبيعي للمياه الجوفية بالزرنيخ في بنغلاديش والذي يؤدي إلى تسمم المزارعين. ونظرا لرغبة العديد من البنغلاديشيين وقدرتهم على شراء مرشحات منزلية تكلفة كل منها 7 دولارات وذلك لتنقية مياه الشرب من الزرنيخ، فإن الحل يكمن في إيجاد موزعين من القطاع الخاص، ودعم شراء هذه المرشحات للسكان الآخرين غير القادرين على شرائها. (تقوم المنظمة IDE في بنغلاديش حاليا بترويج استعمال هذه المرشحات). وكالعادة فإن الحكومة والجهات المانحة تعمل على حلول واسعة النطاق، كإنشاء منظومات مركزية لمياه الشرب والتي لم تثبت فعاليتها في بنغلاديش في الماضي.

نقطة.. نقطة(**)

إن الحصول على الماء من الآبار والخزانات يحل نصف المشكلة، فعلى المزارعين أيضا إيجاد طرق أفضل لإيصال الماء إلى محاصيلهم. تعتمد معظم الحقول المروية في الدول النامية على طرق الري بالغمر (الري السطحي) غير الكفؤة والتي لم تتغير منذ قرون. ونتيجة لذلك ضاعت ملايين الأفدنة من الأراضي الزراعية الجيدة بسبب تحولها إلى أراض غدقة أو متملحة أو بسبب الضخ الزائد من الأحواض المائية. ويعاني المزارعون الفقراء مشكلة إضافية حيث يعمل الكثيرون في أراض هامشية في المناطق شبه الجافة. فبينما تتاح لبعضهم وبشكل محدود المياه السطحية أو مياه الآبار، يعتمد الآخرون كليا على مياه الأمطار. ولهؤلاء فإن نظام الري بالتنقيط، الذي

(*) Water And Poverty

(**) Drop by Drop

يعد من أوفر الطرق لتأمين المياه للمحاصيل، يعتبر هبة إلهية، غير أن معظم نظم الري بالتنقيط كبيرة جدا وشديدة التعقيد وباهظة الثمن بالنسبة إلى احتياجات هؤلاء المزارعين.

في عام 1992، زرت قرية تلية (هضبية) في نيپال تدعى مادان پوكهارا تستخدم نظم للري بالرذاذ تستمد الماء من خزانات صغيرة. لقد شعرت بالامتعاض عندما علمت أن تكلفة كل من هذه النظم، الذي يخدم ثلاثة مزارعين، بلغت 1000 دولار. ولقد صممت على إيجاد طريقة بديلة لتوفيرها بشكل أرخص. واكتشفت أن كل بيتين في القرية يحصلان على مياه الغسيل من خلال أنبوب پلاستيكي صغير متصل بجدول مائي يقع فوق المنازل. لماذا لا يستخدم نظام الأنابيب الرخيص الثمن نفسه لإيصال الماء من الساقية إلى المحاصيل؟ إن بإمكاننا استبدال برميل سعته 55 گالونا يغطس بساقية الماء بالخزان الغالي الثمن المستخدم في نظام الري بالرذاذ. وبدلا من الرشاشات يمكننا إحداث ثقوب في الأنبوب الپلاستيكي باستخدام المطرقة والمسمار لإيصال الماء إلى النباتات بالتنقيط.

لقد اقتنعت أن نظام الري بالتنقيط هو الأكثر ملاءمة لحاجات المزارعين المحليين. وفي عام 2001، وبعد مضي سبع سنوات من التطوير والاختبارات الحقلية، أدخلت المنظمة IDE نظام ري بالتنقيط فعالا ورخيص الثمن ومقاوما للانسداد، وقد بيع بمقدار خمس ثمن النظام التقليدي. يمكن للأسرة الريفية استثمار مبلغ زهيد بحدود ثلاثة دولارات لشراء مجموعة كافية لري حديقة منزلية بمساحة 40 مترا مربعا، وبعد ذلك يمكن إعادة استثمار جزء من العائد السنوي المحقق من الاستثمار الأولي والبالغ 300% لتوسيع نظام الري ليغطي مساحة من الأرض بحدود فدان أو أكثر. وفي عام 2004 اشترى المزارعون الهنود أدوات للري بالتنقيط من المنظمة IDE كافية لري 20 000 فدان. وأتوقع أنه خلال عشر سنوات قادمة سيغطي نظام الري بالتنقيط رخيص الثمن عدة ملايين من الهكتارات في الهند وحدها، وهي مساحة تفوق إجمالي المساحة المروية بنظام الري بالتنقيط في العالم أجمع حاليا.

يمكن استخدام نظم الري بالتنقيط أيضا لري المحاصيل بمخزون مياه الأمطار. فعلى مر التاريخ، ابتكر المزارعون طرقا لتجميع المياه الغزيرة المنسفحة على الحقول خلال فترات الأمطار الموسمية الصيفية التي تهطل بقوة على شرقي أفريقيا وجنوب آسيا. وتعكف المنظمة IDE حاليا على تطوير نظام يستخدم برك ترقيد (ترسيب) صغيرة لإزالة السلت من مياه الأمطار، والتي تنقل بعدها إلى صهريج تخزين يتسع لـ10 000 لتر من الماء. وخلال الأشهر التالية، يستخدم المزارعون مضخة يدوية لنقل الماء خلال أنابيب الري بالتنقيط لإيصاله إلى محاصيلهم التي يمكنهم بيعها بأسعار عالية خلال فصل الجفاف. ونظرا لأن هذا النظام يؤدي وظائف سد كبير لمزرعة صغيرة فقد سميناه تهكميا هو «ناوسا ماد»، وهو تهجئة معاكسة لسد أسوان (ولربما كان سد أسوان من أكثر نظم السدود الكبيرة مثارا للجدل في الدول النامية). ويمر صهريج التخزين «ناوسا ماد» الذي يكلف 40 دولارا فقط بمراحل الاختبارات الحقلية النهائية في الهند وإفريقيا.

نظم الري الصغيرة(*)

1 500 000 عدد المزارعين البنغلاديشيين الذين حصلوا على مضخات قدمية.
49.5 مليون دولار إجمالي الاستثمارات في المضخات.
150 مليون دولار الزيادة الإجمالية في دخل المزارعين السنوي.
1.5 بليون دولار تكلفة إرواء مساحة مماثلة بنظام السد وقنوات الري التقليدي.

أن نبني أو لا نبني السدود؟(**)

يستخدم الناس نحو 10% فقط من الماء العذب الذي يهطل على كوكبنا، وأما الـ90% الباقية فتهطل في الأمكنة ذات الكثافة السكانية المنخفضة كمناطق الأمازون، أو أنها تهطل دفعة واحدة خلال الفصول المطيرة وتندفع عبر حقول المزارعين إلى البحر. وتتمثل أسهل الطرق لإنتاج كمية أكبر من الغذاء في مجتمع متزايد السكان في استخدام مصادر مياه الري المتاحة بكفاءة أعلى، غير أن هذا ليس هو الجواب الوحيد. يستخدم المزارعون حاليا نحو 2500 كيلومتر مكعب من المياه سنويا، وهناك إجماع بأنه حتى في حال تحسين الإنتاجية فسيحتاج المزارعون إلى 20% زيادة من المياه بحلول عام 2025.

كنت ولا أزال ناقدا صريحا للسدود الكبيرة التي بنيت من دون تمعن كاف، غير أنني أعتقد أن من الخطأ عدم إنشاء هذه السدود كليا. وأرى أن التخطيط المدروس والدقيق هو المفتاح. وقد نشرت اللجنة العالمية للسدود مؤخرا تقريرا شاملا يطرح الخطوات والإجراءات المعقولة الواجب اعتمادها للتخفيف من الآثار السلبية للسدود في البيئة. كما يدفع التقرير أيضا باتجاه اختبار بدائل من السدود كتخزين الماء تحت الأرض، ما يحد من الفاقد بالتبخر ويؤمن المياه قرب أمكنة الحاجة إليها.

ينخفض مستوى الماء الجوفي في أمكنة عديدة نحو مترين أو أكثر سنويا بسبب الضخ الجائر للمياه. ويمكن إعادة إغناء بعض الأحواض المائية وذلك بحجز مياه الأمطار الموسمية وتوجيهها لتخزن تحت سطح الأرض. وتعد حالة «گواجارات»

(*) Small-Scale Irrigation
(**) To Dam or Not to Dam?



تم تبني المضخة القدمية من قبل العديد من صغار المزارعين في بنغلاديش والهند لأن تكلفة الواحدة منها 25 دولارا فقط. وتستطيع الأسرة الريفية، التي تستعمل هذه المضخة لري حقل بمساحة نصف فدان، تحقيق ربح يعادل عدة أضعاف ثمن المضخة خلال الموسم الأول فقط من بيع الخضار التي يزرعونها. تزرع هذه الأسرة الهندية الفليفلة الحارة. تلائم المضخات القدمية المناطق التي يكون مستوى الماء الجوفي فيها قريبا من سطح الأرض.

الهندية مثالا جيدا لذلك: فالمنطقة ذات مناخ حار وجاف معظم السنة، وتهطل معظم أمطارها كأمطار موسمية تعمّ خلالها الفيضانات المنطقة كلها. ومنذ ثمانينات القرن العشرين قادت حركة دينية هندوسية تدعى «سواد هايايا پاري ڤار Swadhyaya parivar» آلاف المزارعين في مقاطعة گواجارات لإنشاء ممرات مائية لتوجيه الأمطار الموسمية نحو آبار مفتوحة كبيرة. وقد أدى هذا العمل الجماعي إلى إعادة إغناء المياه الجوفية في الأحواض المائية، كما أدى إلى زيادة ملحوظة في الإنتاج الزراعي. ويجب على وكالات التنمية الدولية البدء حالا بتنفيذ المئات من تجارب مشابهة لحالة گواجارات، وإطلاق مبادرة شاملة لتوسيع أكثر هذه التجارب نجاحا.

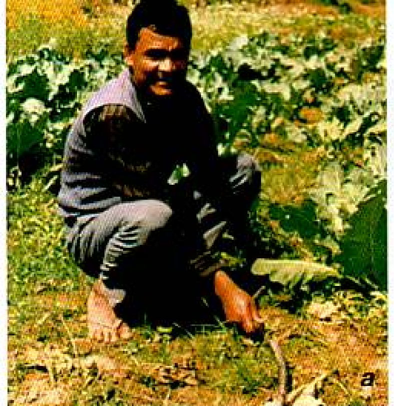
ومن الأفكار الواعدة الأخرى استخدام نظم الري بالتنقيط وبالرذاذ بالاستفادة من قنوات الري المنتشرة في الأراضي الزراعية في الهند والصين ودول أخرى. حيث يمكن للمزارعين الحصول على المياه عندما يأتي دورهم بالتوزيع، والذي يحين عادة كل أسبوعين أو ثلاثة بدلا من دورة ري معظم المحاصيل العالية القيمة التي تراوح بين يومين وأربعة أيام. ومن أجل ذلك توضع خزانات مياه صغيرة بمحاذاة القنوات لتمكين المزارعين من ري حقولهم بين فترات توزيع المياه الغزيرة. ويتبنى المزارعون الصينيون بنجاح هذا الأسلوب الذي يسمّونه (بطيخ على عنب). يمكن لهذه الجهود، إضافة إلى زيادة حجم المحاصيل الغذائية المزروعة والعائد المادي المحقق لكل لتر من الماء، تخفيف الآثار الضارة لتغدّق التربة وتملحها، والتي تتفاقم آثارهما بتطبيق كمية كبيرة من الماء دفعة واحدة على الأرض.

يمكن لنظم الري الجديدة أيضا أن تسهم في توفير مياه شرب نظيفة لقرابة 1.1 بليون نسمة. ونظرا لأن ما يربو على 80% من هؤلاء السكان يقطنون في مناطق ريفية فقيرة وليس في المدن، فإن إنشاء نظم معقدة كبيرة لتوزيع مياه الشرب لجميع السكان هو أمر غير عملي ويكلف مئات البلايين من الدولارات. غير أن نظاما يجمع بين الري وتأمين مياه الشرب يمكن أن يغطي كلفته. وقد قامت المنظمة IDE في عام 2004 بإنشاء نظم صغيرة لتأمين المياه في ثماني قرى ريفية بنيبال، فإضافة إلى تأمين مياه الشرب النظيفة لما يراوح بين 10 و 15 عائلة من كل نظام فهو يؤمن كمية كافية من المياه لري عدة حقول بالتنقيط لمحاصيل خضرية مزروعة خارج الموسم. ونتوقع أن بيع هذه الخضراوات سيغطي تكاليف إنشاء نظم المياه خلال سنة إلى سنتين، ويؤمِّن بعدها دخلا مستمرا للأسر الريفية.

يحصل قرويو الأرياف في معظم أنحاء القارة الإفريقية على الماء للشرب وللري من آبار قريبة. وعلى عكس الوضع في بنغلاديش، فإن مستوى المياه الجوفية في تلك الأنحاء عميقة بحيث يصعب الحصول عليها بوساطة المضخات القدمية. وتعتبر المضخة اليدوية أسهل استعمالا لنضح الماء، غير أن معظم الأفريقيين لا يقدرون على تحمل تكاليفها التي تصل إلى نحو 1500 دولار (وقد حصل «بيتر» على مضخة يدوية لري حقله في مقاطعة ماري ماري كمنحة لقريته من مجموعة كنسية). غير أن بإمكان القرويين إذا قاموا بتشكيل مجموعة من مستخدمي الماء اقتراض المال اللازم لشراء مضخة يدوية. لنفترض أن كلا من العائلات الثلاثين المشكلة للمجموعة وافقت على دفع سبعة دولارات سنويا للمجموعة للحصول على مياه شرب نظيفة، واستثمرت 15 عائلة من هذه العائلات مبلغا قدره 20 دولارا لكل منهم لشراء شبكة ري بالتنقيط. ستربح كل عائلة فلاحية مبلغا إضافيا قدره 100 دولار ناتجة من بيع الفاكهة والخضراوات، يدفع منها 30 دولارا إلى مجموعة مستخدمي الماء. وبذلك ستحصل مجموعة الماء على 210 دولارات سنويا من مستخدمي الماء، إضافة إلى 450 دولارا سنويا من المزارعين. وتغطي هذه المبالغ تكاليف التشغيل وتسديد القرض البالغ 1500 دولار خلال أربع سنوات.

يمكن للحكومات الإفريقية ووكالات التنمية تشجيع هذه الترتيبات من خلال تنظيم مجموعات مستخدمي المياه، وتدريب المزارعين وتسهيل وصول منتجاتهم إلى الأسواق. وتعتبر هذه الاستراتيجية أكثر فاعلية من دعم تكاليف شراء وتركيب المضخات اليدوية، وذلك لأن القرويين على الأغلب سيحافظون بشكل أفضل على المضخات عندما يمتلكونها. وطبيعي أن هذه المنهجية ربما لا تكون صالحة لكل قرية، ففي بعض الحالات مثلا يمكن ألا تعطي الآبار كمية كافية من الماء للشرب والري معا. غير أنني أعتقد أن نصف نظم مياه الشرب الريفية الجديدة، على الأقل، يمكن تمويلها ذاتيا.





يؤمن نظام الري بالتنقيط وصول المياه إلى الخضار المزروعة في القرى التليّة في نيبال (a). وقد تمكنت مصالح التنمية الدولية (IDE) جعل هذا النظام متيسرا من خلال استعمال نظام الأنابيب البلاستيكية الرخيصة الثمن. وتضمن أنابيب الري بالتنقيط إيصال المياه مباشرة إلى جذور المحاصيل (b).

بطاقة الأسعار[*]

كم ستكون تكلفة إطعام ثلاثة بلايين إنسان إضافي وتخفيض مستويات الفقر إلى النصف؟ كل ما يمكن للمرء فعله هو وضع تخمينات نظرية. فيما يتعلق بالمزارع الكبيرة ذات الترب الجيدة، حيث تحققت معظم الزيادة في الإنتاج الزراعي حتى الآن، أعتقد أنه يلزم 20 بليونا إضافيا من الدولارات لزيادة الغلة الزراعية خلال السنوات العشر القادمة، حيث سيلزم نحو 10 بلايين دولار لدعم استمرارية البحث الزراعي في الجامعات ومراكز الأبحاث الوطنية، والمراكز التابعة للمجموعة الاستشارية بالأبحاث الزراعية الدولية (CGIAR)، إضافة إلى 10 بلايين دولار أو أكثر لمضاعفة إنتاجية نظم الري القائمة وبناء عدد قليل من السدود الكبيرة الجديدة.

> إنه أمر أساسي على الإطلاق أن يستثمر الفقراء الريفيون وقتهم ومالهم في الجهد المبذول للتخلص من الفقر.

إن الحد من الفقر هو على كل حال أكثر تعقيدا من توسيع مصادر تأمين الغذاء، وإن تقديرات تكاليف تحقيق أهداف تنمية الألفية تتباين بشكل كبير. يقول ‹D. J. ساكس› [من جامعة كولومبيا] ولجانه من خبراء الأمم المتحدة بأنه يجب على الدول الغنية تأمين أكثر من 1.5 تريليون دولار كمساعدات مادية للأمم النامية خلال السنوات العشر القادمة، مع تخصيص حصة الأسد فيها لتحسين البنية الأساسية في الصحة والتعليم والطاقة والطرق[1]. لقد قادني عملي مع المنظمة IDE إلى مجموعة مختلفة من الاستنتاجات. الأول، أنه على الرغم من حساسية وأهمية الاستثمارات الغربية للإقلاع في هذه المسيرة والبدء بها، فإن من الضرورة المطلقة أن يستثمر الفقراء الريفيون وقتهم ومالهم في الجهد المبذول للتخلص من الفقر. وتبقى الخطوة الحاسمة متمثلة بإطلاق طاقة المستثمرين في دول العالم الثالث. وتتمثل الأنباء الجيدة في أن مزارعي الحيازات الصغيرة (فدان واحد) هم حاليا مستثمرون مدعمون بالآلاف من رجال الأعمال العاملين في مخازن وورش صيانة صغيرة.

في كل سنة من السنوات الأخيرة الماضية، ساهمت مشروعات المنظمة IDE في زيادة الدخل السنوي الصافي لأكثر من مئة ألف أسرة ريفية فقيرة بنحو 500 دولار، بتكلفة تقل عن 200 دولار للأسرة الواحدة. ومع افتراض استمرارية هذا التقدم، فإن تحقيق أهداف تنمية الألفية[2]، والتي تتطلب تخليص 600 مليون إنسان أو نحو 100 مليون عائلة من الفقر، سيكلف 20 بليون دولار. ولن يغطي هذا المبلغ جميع تحسينات البنية الأساسية التي أشار إليها ‹ساكس› وآخرون، غير أنها يمكن أن تعطي الأسر الريفية دخلا جديدا لتعليم أبنائهم وتطوير مزارعهم ومنازلهم ومستواهم الصحي. وأنا واثق من أن برنامجا كهذا سيحفز القطاع الخاص العامل في الزراعة إلى أن يهيئ البنية الأساسية لأسواق تصنيع وتصنيف وتعليب وتوزيع البندورة والباذنجان والفليفلة الحارة والمنتجات الأخرى ذات القيمة الكبيرة المزروعة من قبل مزارعين أكفاء.

إذا كان باستطاعة مؤسسة صغيرة كالمنظمة IDE، بميزانيتها البالغة 10 ملايين دولار وموظفيها الـ600، أن تخلص نحو مليون شخص من الفقر سنويا، فسيكون للجهود المشتركة للدول الغنية أثر أكبر من ذلك بكثير. ويتحتم على وكالات الإنماء الدولية أن تبدأ من القاعدة على مستوى المزارع الصغير الذي يعمل بصمت على مضخته القدمية وأن تنطلق منه إلى الأعلى. ■

(*) The Price Tag

(1) [انظر: "Can Extreme Porety Be Eliminated," by Jeffrey D. Sacks; *Scientific American*, September 2005.]

(2) Millennium Development Goals

المؤلف

Paul Polak

مؤسس ورئيس المؤسسة الدولية للتنمية (IDE)، وهي منظمة غير ربحية ساعدت منذ عام 1981 على أن تخلّص من الفقر أكثر من 12 مليون إنسان يعيشون في مزارع صغيرة. وقبل ذلك عمل ‹بولاك› في بعض المصالح، وكان طبيبا نفسيا حصل على درجة الطب من جامعة أونتاريو عام 1958. وقد طور نموذجا للتدخل المباشر في معالجة مرض نفسي رئيسي، كما نشر ثمانين مقالة علمية حول الموضوع. وقد أدرك ‹بولاك› الروابط بين المرض النفسي والفقر، وأسهم نجاحه في بعض المصالح في تأسيس المنظمة IDE ومقرها الرئيسي بليكوود، في كولورادو.

مراجع للاستزادة

Pillar of Sand: Can the Irrigation Miracle Last? Sandra Postel. W. W. Norton, 1999.

Poverty Alleviation as a Business. Urs Heierli and Paul Polak. Swiss Agency for Development and Cooperation, 2000. Available at **www.intercooperation.ch/sed/product/heierli/main.html**

The World's Water, 2004–2005: The Biennial Report on Freshwater Resources. Peter Gleick. Island Press, 2004.

More information about International Development Enterprises and its work can be found at **www.ide-international.org** and **www.iwmi.org/respages/PGW/treadle.htm**

تتمة الصفحة 43 (أرباح أكثر وانبعاثات كربونية أقل)

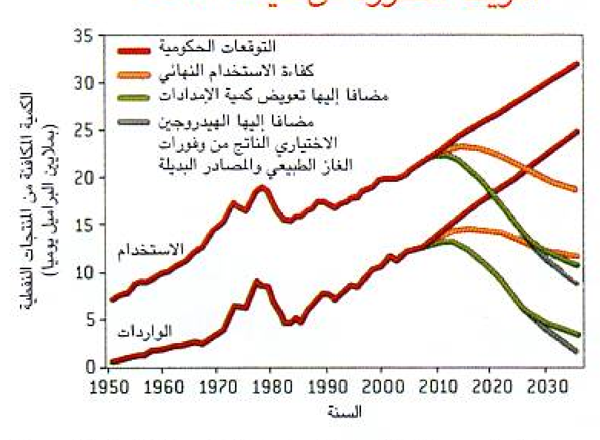
تم ذلك بصورة منفصلة لكل فئة من فئات حجوم السيارات، بحيث لا يكون هناك تحيز ضد الطرز الأكبر حجما، فإن هذه الرسوم سوف توسع من نطاق اختيار العملاء بدلا من أن تقيده. كما أن هذه الرسوم سوف تشجع على الابتكار، وتوفر أموالا للعملاء، وتزيد من أرباح صانعي السيارات. وهذه السياسة، التي يمكن تنفيذها على مستوى الولايات، يمكن أن تعجل من استخدام السيارات والشاحنات والطائرات التي تستخدم تقانات متقدمة، من دون حاجة إلى تشريعات أو ضرائب أو دعم أو قوانين وطنية جديدة.

وفي بلدان أوروبا واليابان، تعتبر العقبة الرئيسية أمام توفير الطاقة هي وجود اعتقاد خاطئ في هذه البلدان بأن اقتصاداتها قد وصلت بالفعل إلى أعلى مستوى من الكفاءة يمكن الوصول إليه. ويزيد مستوى الكفاءة في هذه البلدان على ضعفي مستواها في الولايات المتحدة، غير أنه مازال أمامها شوط طويل. ومع ذلك، فإن أعظم الفرص توجد في البلدان النامية، التي يصل مستوى الكفاءة فيها إلى ثلث قيمته في الولايات المتحدة. فالمحركات ومعدات الإضاءة والأجهزة الأخرى التي تسبب قدرا هائلا من التبديد تباع وتشترى بحرية على نطاق واسع في هذه البلدان. ويلتهم قطاع الطاقة فيها حاليا رُبع ميزانياتها الإنمائية، ليحول هذه الأموال عن المشروعات الحيوية الأخرى. ويقع على البلدان الصناعية جانب من المسؤولية عن هذه الحالة لأن بلدانا كثيرة منها تصدر مركبات ومعدات منخفضة الكفاءة إلى البلدان النامية. ويعتبر تصدير عدم الكفاءة عملا غير أخلاقي وغير اقتصادي. وبدلا من ذلك، ينبغي للبلدان الغنية أن تساعد البلدان النامية على إقامة بنية أساسية تتميز بكفاءة عالية في استخدام الطاقة فتحرر أموالا لمواجهة الاحتياجات الملحّة الأخرى. وعلى سبيل المثال، فإن رأس المال اللازم لتصنيع مصابيح ونوافذ عالية الكفاءة يقل ألف مرة عن رأس المال اللازم لبناء محطات توليد الكهرباء والشبكات اللازمة لأداء المهام نفسها، مع استعادة الأموال المستثمرة بسرعة تزيد بنحو عشرة أضعاف.

وقد اكتشفت الصين والهند فعلا أن اقتصاديْهما الآخذين في النمو لن يستطيعا الصمود للمنافسة طويلا، إذا استمر ضياع المال والمواهب والصحة العامة في البلدين بسبب تبديد الطاقة. وقد وضعت الصين أهدافا طموحة ولكنها قابلة للتحول عن الطاقة الناتجة من إحراق الفحم إلى الطاقة المتجددة اللامركزية والغاز الطبيعي. (يملك الصينيون إمدادات ضخمة من الغاز ومن المتوقع أن يشرعوا في استغلال الاحتياطيات الهائلة في سيبيريا الشرقية). إضافة إلى ذلك، أعلنت الصين في عام 2004 عن استراتيجية للطاقة تقوم على «تقانات تتقدم بخطى كبيرة» والإسراع بتحسين كفاءة المباني والمصانع والمنتجات الاستهلاكية الجديدة. كما تتخذ الصين خطوات للسيطرة على النمو المتسارع في استخدامها للنفط؛ فبحلول عام 2008 سيصبح بيع كثير من السيارات الأمريكية المتدنية الكفاءة عملا مخالفا للقانون في الصين. وإذا لم يعجِّل صانعو السيارات الأمريكيون بالابتكار بالسرعة الكافية، فإن هناك احتمالا كبيرا أن تجد نفسك خلال العقد القادم تقود سيارة صينية الصنع فائقة الكفاءة. ويهدد ذلك مصير مليون وظيفة في الولايات المتحدة.

ويحفز الاقتصاد العالمي الذي يصبح أكثر تنافسا بصورة مطردة نمطا جديدا مثيرا من أنماط استثمار الطاقة. وإذا استطاعت الحكومات إزالة العقبات المؤسسية والاستفادة بالطابع الديناميكي لحرية التجارة، فإن الأسواق سوف تشجع بالطبع الاختيارات التي تولد الثروة وتحمي المناخ وتجلب أمانا حقيقيا بالاستعاضة عن الوقود الأحفوري ببدائل أقل تكلفة. ويبشر هذا الالتقاء بين المصالح التجارية والبيئية والأمنية ـ من أجل تحقيق الوفرة ـ بعالم أكثر عدلا وثراء وأمانا. ■

أمريكا متحررة من هيمنة النفط



يمكن تخفيض استهلاك الولايات المتحدة ووارداتها من النفط بطريقة مربحة بمضاعفة كفاءة السيارات والمباني والصناعات (*الخطوط الصفراء في الشكل البياني*). وتستطيع الولايات المتحدة تحقيق المزيد من التخفيض بإحلال البدائل المنافسة محل النفط، كالوقود الحيوي المتقدم والغاز الطبيعي المدخر (*الخطوط الخضراء*) والوقود الهيدروجيني (*الخطوط الرمادية*).

المؤلف

Amory B. Lovins

هو أحد المشاركين في تأسيس معهد جبال الروكي والمدير التنفيذي للمعهد، الذي يُعَدُّ منظمة رائدة غير ربحية، وهذا المعهد موجود في سنوماس بولاية كولورادو. وهو رئيس شركة فايبر فورج، وهي شركة هندسية في كليتوود سبرينكز بكولورادو. وكونه فيزيائيا، عمل «لوفينز» مستشارا لشركات صناعية وحكومات في كافة أنحاء العالم على مدار أكثر من 30 سنة، بصفة رئيسية في مجال الطاقة وصلتها بالبيئة والتنمية والأمن. وقد نشر 29 كتابا ومئات من الدراسات في هذه المواضيع، وحصل على زمالة ماك آرثر وجوائز أخرى كثيرة تقديرا لعمله.

مراجع للاستزادة

Hypercas, Hydrogen and the Automotive Transition. A. B. Lovins and D. R. Cramer in International Journal of Vehicle Design, Vol. 35, Nos. 1–2, pages 50–85; 2004. Available at **www.rmi.org/images/other/Trans/T04-01_ HypercraH2AutoTrans.pdf**

Winning the Oil Endgame. A. B. Lovins, E. K. Datta, O.-E. Bustnes, J.G. Koomey and N. J. Glasgow.Rocky Mountain Institute, 2004. Available at **www.oilendgame.com**

A complete list of references can be found online at **www.rmi.org/sitepages/pid173.php#C05-05**

الصحة العامة في تحوّل[*]

إن الاضطرابات المزمنة كأمراض القلب والداء السكري، التي كانت شائعة يوما ما في البلدان الصناعية فقط، تجتاح حاليا بقية أرجاء العالم. ويتلازم مع هذه الاضطرابات ما يلوح في الأفق من تهديد انتشار الأمراض المعدية[1]. لذا فالحاجة ماسّة إلى أولويات جديدة في مجال الصحة العامة.

<R .B> بلوم

منذ زمن غير بعيد قام <S. لويس> [مبعوث الأمم المتحدة الخاص لمكافحة الڤيروس HIV والايدز في إفريقيا] بجولة في زيمبابوي. توقف عند مدرسة ابتدائية وسأل الأطفال عن أكثر الأمور إزعاجا لهم. وأظهرت ردودهم شدة كآبتهم، إذ أجاب سبعة من عشرة منهم بكلمة: «الموت».

وتوجه <لويس> بعدها إلى زامبيا، حيث شاهد حقول الملفوف. وسأل القرويين عما إذا كان لديهم ما يكفيهم للأكل، فقالوا: «نعم، حتى إن لدينا ملفوفا للبيع.» فسألهم: «وماذا تفعلون بأرباحكم؟» فأجابوا: «نشتري توابيت.»

إن قصصا كهذه تعزز بأذهان الناس في الأقطار الغنية صورة عن العالم النامي يسيطر فيها الموت على المشهد العام. ومع ذلك، إن هذا العالم، الذي هو موطن 83 في المئة من سكان كوكب الأرض، هو مكان رحب متنوع. ويلاحظ في مناطق كثيرة من الكرة الأرضية أن **الأنماط المقولبة** stereotypes للبلدان التي يعمل فيها الموت تخريبا لم تعد مشابهة للحقيقة. ففي كل قارة، يحدث تحول سكاني (ديمغرافي) واضح؛ إذ ينتقل سكان الأرياف إلى المناطق المدنية، وتحمل النساء أطفالا أقل عددا، وتمتد الحياة بالناس ليصبحوا أطول أعمارا. ويرافق هذا الاتجاه تحول وبائي؛ فالبلاد التي تتعرض لتوسع اقتصادي سريع، كالهند والصين، تجابه الآن مشكلات صحية تشبه مشكلات الولايات المتحدة.

وفي الحقيقة، قلّلت دول عديدة من أثر الأمراض المعدية (الخامجة) فيها، وحسنت صحة سكانها بإتاحة فرص الحصول على اللقاحات والماء النظيف والخدمات الطبية الأساسية والتغذية الجيدة. ويعيش الناس في معظم الأقطار النامية حياة أطول، وتزداد الوفيات التي لا تسببها العداوى (الأخماج) بل تنجم عن الأمراض المزمنة الشائعة بين المسنين، كأمراض القلب والداء السكري والسرطان. إن الاضطرابات المزمنة اليوم هي أكبر مسهم في العبء العالمي للأمراض.

غير أن الأمراض المعْدية بعيدة عن أن توصف بأنها تلاشت. فهي مازالت تهدد ليس إفريقيا فحسب، بل البلدان جميعها بما فيها الولايات المتحدة، حيث أضحت مقاومة المضادات الحيوية (الصادات) تشكل خطرا متزايدا، وحيث 45 مليون فرد غير متمتعين بتأمين صحي معرضون لأمراض قابلة للمعالجة السريعة. إن التهديدات القادمة من عوامل معْدية جديدة تجعل دول العالم أيضا قريبة بعضها من بعض. وفي عصر العولمة هذا، تخترق العوامل الممرضة الحدود الوطنية وتستطيع الانتشار عبر كوكب الأرض بسرعة هائلة. ومادامت هذه العوامل تختار الاستيطان في أمكنة لا تمييز بينها، فإنها تمثل خطرا حقيقيا على البشرية، ولا تستطيع دولة واحدة بمفردها أن تتعامل معه وتصدّه.

ونتيجة لذلك، يحدث تقارب والتقاء غير مألوفين، إذ لم يعد العالم اليوم منشقا إلى قسمين يضم أحدهما الأقطار النامية المبتلاة بالأمراض المعْدية، ويضم الآخر دولا صناعية معزولة إلى حد كبير عن كوارث تلك الأمراض. ومن وجهة النظر الصحية، فإن نصف الكرة الشمالي ونصف الكرة الجنوبي البعيد عن جنوب الصحراء الإفريقية هما أكثر تشابها وأقل اختلافا.

لقد أضحى العالم مقسما حسب خطوط أخرى مغايرة للسابقة. وتبقى ضمن الأقطار وضمن الأقاليم أيضا تقسيمات حادة بين الأغنياء والفقراء، والأصحاء والمرضى. وفي أشد الدول فقرا، يموت نحو نصف عدد الأطفال قبل بلوغهم الخامسة من العمر. كما تلاحظ تفاوتات صحية هائلة في أجزاء من الولايات المتحدة. فالأمريكيون الأصليون الذين يعيشون في بعض مناطق جنوب داكوتا يمكنهم توقع الموت قبل نحو 13 عاما ممن هم في سنهم تماما من الأمريكيين البيض الذين يعيشون في بعض مناطق مينيسوتا. ويصل قرابة 88 في المئة من الرجال البيض في الولايات المتحدة إلى عمر 65 عاما؛ في حين لا يصل إليه إلا نحو 76 في المئة فقط من الأمريكيين الإفريقيين.

إن هذا البعد عن الإنصاف أمر غير مقبول أخلاقيا في عالم يتم فيه اتخاذ خطوات كبيرة في مضمار الوقاية من الأمراض ومعالجتها. كما أن ذلك بعيد عن الحكمة من الوجهة الاقتصادية. فالصحة

(*) PUBLIC HEALTH IN TRANSITION
(1) infections



إن ازدياد محيط الجسم وما يتصل به من مشكلات صحية هو مصدر قلق متزايد في ماليزيا وفي دول نامية عديدة.

السيئة يمكنها إعاقة النمو الاقتصادي، والصحة الجيدة يمكنها دفع ذلك النمو إلى الأمام واقتلاع جذور الفقر وتشجيع العدالة الاجتماعية. إضافة إلى ذلك، فقد تصل تكاليف المشكلات الصحية في مكان ما إلى أمكنة أخرى (كما أوضحت **فاشية السارس** SARS outbreak في آسيا عام 2003).

إن الفجوة ضخمة بين ما نعرفه عن الوقائع الجديدة للصحة العامة وطريقة ترجمة تلك المعرفة إلى عمل. وسيتطلب التوجه نحو حل المشكلات الصحية في كل قطر تعاونا دوليا وبنية تنسيقية عالمية غير متوافرة حتى الآن.

عبء مزمن(*)

قبل عهد قريب كان معدل الوفيات هو المقياس الوحيد الذي تستخدمه منظمة الصحة العالمية (WHO) لوصف الصحة، وبحسب ذلك كان الشخص إما حيا أو ميتا. أما الذين كانوا في موقع الوسط، ويعانون مرضا أو أذية مستمرة وعاجزين غالبا عن العمل، فلم يكونوا مرئيين من الناحية الإحصائية. ولم يكن بوسع مسؤولي الصحة العامة متابعة المصابين بالعجز، كما لم يكن بإمكانهم مراقبة الآثار الاجتماعية والاقتصادية لأمراضهم.

أما الآن، فإن الوسائل التحليلية المتطورة سمحت لمنظمة الصحة العالمية بأن تملك زمام السيطرة القوية، لا على الأمراض المزمنة وحدها، بل على الصعوبات التي تفرضها تلك المآسي المرضية على المجتمع أيضا. وفي الواقع، إن البيانات التي جمعتها منظمة الصحة العالمية، ودُعيت مؤشرات نوعية الحياة، أدت دورا أساسيا في مساعدة المختصين بالوبائيات على التنبؤ بالاتجاهات وتطويق العداوى ومراقبة أنماط الأمراض وإجراء مقارنة ذات دلالة بين العبء الذي تفرضه الحالات المرضية المزمنة والعبء الذي تفرضه الأمراض المعدية (الخامجة). إن توافر هذه المعلومات يجعل البلدان قادرة على وضع أولوياتها الصحية.

ويعد تطبيق مقياس سنوات الحياة بعد حساب العجز[1]، أو ما يدعى اختصارا DALYs، من أفضل الوسائل المعتمدة. إن هذه الإحصائيات تجدول عدد سنوات الصحة الضائعة بسبب أذية أو آفة أو موت مبكر؛ ويمكن تحليلها بطرق متعددة بحسب المرض أو الإقليم أو العمر أو الجنس أو غير ذلك. وقد فتح المقياس DALYs عهدا جديدا في مجال رعاية الصحة الوقائية حينما سمح بتسجيل تأثيرات الأمراض ومتابعة مراقبتها بدقة.

وفي عام 1999، وهي السنة الأولى التي

(*) A Chronic Burden

(1) disability adjusted life-years، أي سنوات الصحة الضائعة بسبب أذية أو مرض أو موت مبكر. (التحرير)

جُمعت فيها معلومات عن المقياس DALYs، مات نحو 56 مليون شخص في أرجاء العالم، غير أن مكافئها المساوي 1.4 بليون من سنوات الصحة[1] ضاعت لظروف قابلة لبقاء الأفراد أحياء ولكن في حالة عجز، وهو عدد أعلى كثيرا مما توقعه المختصون بالوبائيات. إن جنوب الصحراء الإفريقية، الذي هو موطن 10 في المئة فقط من سكان العالم مسؤول عن 26 في المئة من سنوات الصحة ضاعت إلى حد كبير بسبب الأمراض المُعدية، وعلى وجه الخصوص الڤيروس HIV المسبب للإيدز.

وتقدم بيانات المقياس DALYs أيضا تحليلا عميقا للسلوكيات غير الصحية والضريبة التي تفرضها على المجتمع. ففي الولايات المتحدة، نصف عدد حالات الوفيات جميعها في سنة ما ـ ويبلغ نحو 1.2 مليون ـ له ارتباط بالتدخين وتعاطي الكحول وسوء التغذية ونقص ممارسة الرياضة. إن إدمان التدخين وحده يقتل ما يقارب 5 ملايين فرد في العالم كل عام، ويصيب ملايين آخرين بمشكلات قلبية ورئوية وإصابات في الدورة الدموية. كما أن البدانة التي يكاد انتشارها يصل إلى مستويات وبائية، تسهم في حدوث أمراض الشرايين الإكليلية والداء السكري والاكتئاب؛ وهي مثوى حالات خطيرة أخرى أيضا. إضافة إلى ذلك فإن الإصابات والوفيات المتصلة بالعمل هي في ارتفاع هائل في الأقطار النامية، حيث يغلب كثيرا أن تُعرِّض أهدافُ الإنتاج وغزارة العمل سلامةَ العمال للخطر. وعلى الرغم من صعوبة الحصول على أعداد دقيقة، فإن منظمة العمل الدولية تقدر أن معدلات الوفيات في الصين أثناء العمل تعادل خمسة أضعاف السائد في الولايات المتحدة، وأن معدلات الإصابات أعلى بشكل واضح أيضا.

فإن استمرت الاتجاهات الحالية الرامية إلى صد كوارث غير مرئية، فستنخفض المعدلات العالمية للأمراض المعدية ـ كالإسهال والتهابات الرئة والسل ـ بالنسبة إلى الأمراض المزمنة مع حلول عام 2020. أما الأمراض النفسية، ولاسيما الاكتئاب (المسؤول عن عدد قليل من الوفيات نسبيا، ولكن عن حالات عجز كثيرة)، فستزداد نسبتها وستحتل المرتبة الثانية في قائمة العوامل المسهمة في عبء العالم من الأمراض، وسوف تحتل أمراض القلب المكان الأول. ومما يدعو إلى الدهشة أن تقفز حوادث وسائط النقل إلى الدرجة الثالثة ـ لأنها كثيرة بصفة خاصة في البلدان التي تفتقر إلى (أو لا تتشدد في) متطلبات منح إجازات القيادة والتسجيل والتفتيش الرسمي للمركبات. وسيستمر في الوقت ذاته ارتفاع معدلات البدانة والأمراض المتصلة بالتدخين وحوادث المناطق الصناعية؛ وكل ذلك يهدد المكاسب التي تتحقق في أمكنة أخرى في مجال الرعاية الصحية.

الوقاية هي الأساس(**)

يجب أن تحتل الوقاية المقام الأعلى في الحرب على الأمراض المزمنة والمعدية. وليست الوقاية أقوى من المعالجة في الإقلال من نسبة المراضة والوفيات[2] فحسب، ولكن بوسع استراتيجياتها البسيطة أن تنتج

مفترق طرق أمام
الصحة العامة(*)

المشكلة:

- اتساع التفاوتات الصحية بين الأغنياء والفقراء.
- ابتعاد مستقبل الصحة العامة عن أن يكون آمنا. وعلى الصعيد العالمي، إن الأمراض المعدية (الخامجة) في تناقص، ولكن الاضطرابات المزمنة تشكل عبئا متزايدا. وهناك أمراض مزمنة عديدة ذات ارتباط بأسلوب المعيشة، ومن غير المحتمل أن تزول هذه إن لم تقدِّم وكالات الصحة العامة والجهات التنظيمية العمل اللازم.
- بإمكان جائحة مميتة أو عمل بيولوجي إرهابي أو كارثة بيئية التعجيلَ بوقوع أزمة.

الخطة:

- الوقاية مهمة جدا لضمان مستقبل صحي، والاستراتيجيات البسيطة كبيرة الفاعلية في درء أمراض عديدة معْدية ومزمنة.
- إن توافر المعلومات الجيدة ووسائل تحليلها الملائمة يمكّن من تحديد الأولويات، وهذا يساعد على تقديم أقصى الفوائد لأكبر عدد من الناس.
- تؤدي الجهود المتناسقة والتعاون بين جهات متعددة إلى استئصال مصادر التفاوت بين الناس، وإيصال الرعاية الصحية الأساسية إلى المحرومين منها الآن، وإلى التخفيف من تلوث الهواء والماء.
- يمكن إقلال الأزمات الدولية ـ كالجائحات والكوارث الطبيعية ـ إلى الحد الأدنى عن طريق إنشاء بنية تحتية عالمية للصحة العامة قادرة على إبداء استجابة سريعة وفعالة حيال التهديدات البارزة.

عيادة في مالي بإفريقيا.

(*) Crosspoads For Public Health
(**) Prevention Is Key
(1) healthy years
(2) morbidity and mortality

تغير أنماط الصحة العالمية[*]



المرتبة	*1990	المتوقع عام 2020
1	ذات الرئة (الالتهاب الرئوي) والعداوى التنفسية الأخرى.	أمراض القلب.
2	الأمراض المسببة للإسهال.	الاكتئاب.
3	أمراض حيثي الولادة والخدج.	حوادث الطرق.
4	الاكتئاب.	السكتة الدماغية.
5	أمراض القلب.	النُّفاخ والتهاب القصبات.
6	السكتة الدماغية.	ذات الرئة والعداوى التنفسية الأخرى.
7	السل.	السل.
8	الحصبة.	الحروب.
9	حوادث الطرق.	الأمراض المسببة للإسهال.
10	العيوب الولادية.	الفيروس HIV.

الأسباب الأساسية للمقياس DALYs

* استنادا إلى بيانات عام 1990 التي أعيد تحليلها كأسباب للمقياس DALYs

المصادر الأساسية للمقياس DALYs [سنوات العمر بعد حساب العجز] ـ أي: سنوات الصحة الضائعة بسبب أذية أو مرض أو موت مبكر في أرجاء العالم ـ هي قيد التغير [*الجدول*]. وهي تتحول من عداوى (أخماج) حادة إلى تأثيرات أخرى ربما شملت ظروف الشيخوخة والاختيارات السلوكية. ومع حلول عام 2020 من المتوقع أن تصبح أمراض القلب والاكتئاب وحوادث الطرق حسب المقياس DALYs الثلاثة الأولى. لقد وقع الحادث الذي تظهره الصورة أعلاه في هانكزو بالصين أوائل العام 2005.

أرباحا كبيرة أيضا. ولنعد بالذاكرة إلى تسونامي 2004، الكارثة المريعة بالمقاييس جميعها. لقد كانت المساعدات العاجلة ضرورية إلى درجة قصوى، ولاحت في الأفق بوادر فاشيات[1] الأمراض المعدية، وكان الوقت قصيرا. وخشي مسؤولو الصحة العامة دورة ثانية للموت أشد من الأولى. ولكن تحديدهم أهدافا واقعية، وتنسيقهم جهود الإغاثة جعلهم قادرين على جمع الأساسيات بسرعة ـ كالمياه المعبأة واللقاحات وشبكات صد البعوض. وبهذا أحبطوا انتشار الكوليرا (الهيضة) والحصبة والزُّحار. ومن السخرية أنه حينما تنجح تدخلات الصحة العامة، كما حصل حين وقوع الموجات التسونامية؛ فليس هناك إلا القليل الذي يمكن إظهاره للآخرين. إن غياب الأمراض هو تعريف النجاح في مملكة الصحة العامة.

وانخفض عدد الوفيات الناجمة عن الأمراض المعدية كثيرا في أمكنة أخرى، ووصلت النسبة إلى 60 في المئة في بعض المناطق نتيجة للجهود التي هدفت إلى إتاحة اللقاحات والمضادات الحيوية (الصادات) وتوفير الغذاء لملايين الناس، إضافة إلى تعزيز التصحاح. واليوم، إن حملات التلقيح الكبرى ماضية قدما لتحقق أهداف «مشروع منظمة الصحة العالمية والأمم المتحدة للتنمية في الألفية الجديدة» الرامي إلى تمنيع كافة الصغار ضد أمراض الطفولة، ولاسيما في إفريقيا. كما أن بلادا، كالهند والصين، أطلقت حملات تلقيح في «أيام وطنية للتمنيع» أعطت نتائج باهرة. ففي أسبوع واحد فقط خلال الشهر 2004/11، قام 2.5 مليون متطوع بتلقيح 167 مليون طفل هندي. إن التلقيح ذو معنى اقتصادي هائل يضاف إلى إطالته الحياة؛ إذ يقدر أن 29 دولارا توفر من التكاليف الطبية في الولايات المتحدة مقابل كل دولار يصرف على اللقاحات المضادة للخناق والسعال الديكي (الشاهوق) والكزاز[2] (DDT)؛ كما يقدر أن متوسط العائد هو 21 دولارا في حالة الحصبة

(*) Changing Patterns of Global Health

(1) outbreaks

(2) جاء في الأصل الإنكليزي كلمة "typhus"، وهذا خطأ، والصواب هو "tetanus" ـ أي الكزاز ـ المشمول باللقاح الثلاثي. (التحرير)



طلبة التمريض الذين يتدربون في المكسيك (*الصورة*) غالبا ما ينتهي بهم المطاف للعمل في الولايات المتحدة. إن هذا النوع من هجرة العقول إلى الدول الغنية يمكنه أن يضعضع استقرار أجهزة الرعاية الصحية في الدول النامية.

والنكاف والحصبة الألمانية (الحميراء)؛ وهي صفقة رابحة بالمقاييس كافة.

وكانت برامج الوقاية الموجهة إلى مكافحة الڤيروس HIV المسبب للإيدز ذات فاعلية كبرى أيضا في الولايات المتحدة، وكذلك في أوغندا وتايلند والبرازيل. ويبرهن ذلك كله على أن بوسع الجهود المنسجمة أن تؤدي إلى تجنب هذا المرض ومكافحته على المستوى القومي. إن ازدياد توافر الأدوية **المضادة للڤيروسات القهقرية** antiretroviral - والكثير منها تقدمه الشركات الصيدلانية بسعر التكلفة - سيفضي إلى بقاء من هم إيجابيو الڤيروس HIV أحياء؛ كما أن إتاحة الأمل ستزيد الاهتمام بالاختبارات الطوعية. وعن طريق الربط بين المعالجة والوقاية من سريان المرض، تستطيع هذه الاستراتيجيات الأساسية أن تساعد على تحويل عدوى (خمج) الڤيروس HIV من مرض مميت بالتأكيد إلى مرض مزمن في العالم كله. بيد أن المطلوب هو وجود القيادة الوطنية والبرامج التثقيفية والجهود الكبيرة لتعبئة الناس ووسائل الإعلام. إن الوقت هو العنصر الجوهري؛ فالڤيروس HIV المسبب للإيدز قيد الانتشار، ليس في إفريقيا فقط، بل في أرجاء الهند وجنوب آسيا وأوروبا الشرقية.

وحققت جهود الوقاية التي ركزت على الأمراض المزمنة المتعلقة بالشيخوخة نجاحات كبرى أيضا. ولا يحتاج المرء إلا إلى تفحص النتائج في الولايات المتحدة، حيث المعالجات المضادة لارتفاع ضغط الدم، مترافقة بالتغذية الصحية وممارسة الرياضة على مدى الـ20 سنة الماضية، أدت إلى إقلال الوفيات الناجمة عن النوبات القلبية والسكتات بنسبة 50 و 30 في المئة على التوالي. ولما كان كثير من العقاقير الأساسية في معالجة الأمراض القلبية - كالأسپرين ومحصرات بيتا[1] والستاتينات ومثبطات الخميرة التي تقلب الأنجيوتنسين (ACE) - قد انتهت مدة حصرها بالشركة الأصلية وأصبحت رخيصة نسبيا، أمكن نظريا توقع حدوث نقصان مشابه في نسبة الوفيات في بقية أنحاء العالم. كما أن مشروع الجينوم البشري يساعد على تعيين الجينات المرتبطة بالصحة وبالمرض، وعلى تحديد التأثيرات الوراثية باستجابتها للعوامل الصيدلانية وللعوامل البيئية. ويُتوقع لهذا البحث بدوره أن يُنتج عصرا جديدا من العقاقير والمعالجات الموجهة؛ مما سيرفع مستوى الرعاية الصحية إلى الحد الأعلى، وسيحسن حياة المصابين بأمراض مزمنة.

أما فيما يتعلق بكل من البالغين والصغار، فالمقاربة الحاسمة للوقاية الصحية - على الرغم من صعوبتها سياسيا - هي في محاربة اعتياد التبغ. إن التدخين ليس اختيارا فرديا، بل هو إدمان؛ والضغوط الاجتماعية القوية والإعلانات تغري أفرادا بالتدخين. ومن الناحية الفيزيولوجية، يعد النيكوتين من أشد المواد الإدمانية المعروفة. ويجب على الحكومات أن تتولى الدور القيادي المسؤول، كأن تسعى إلى إطلاق الحملات الإعلامية الهادفة إلى صرف

(1) beta blockers

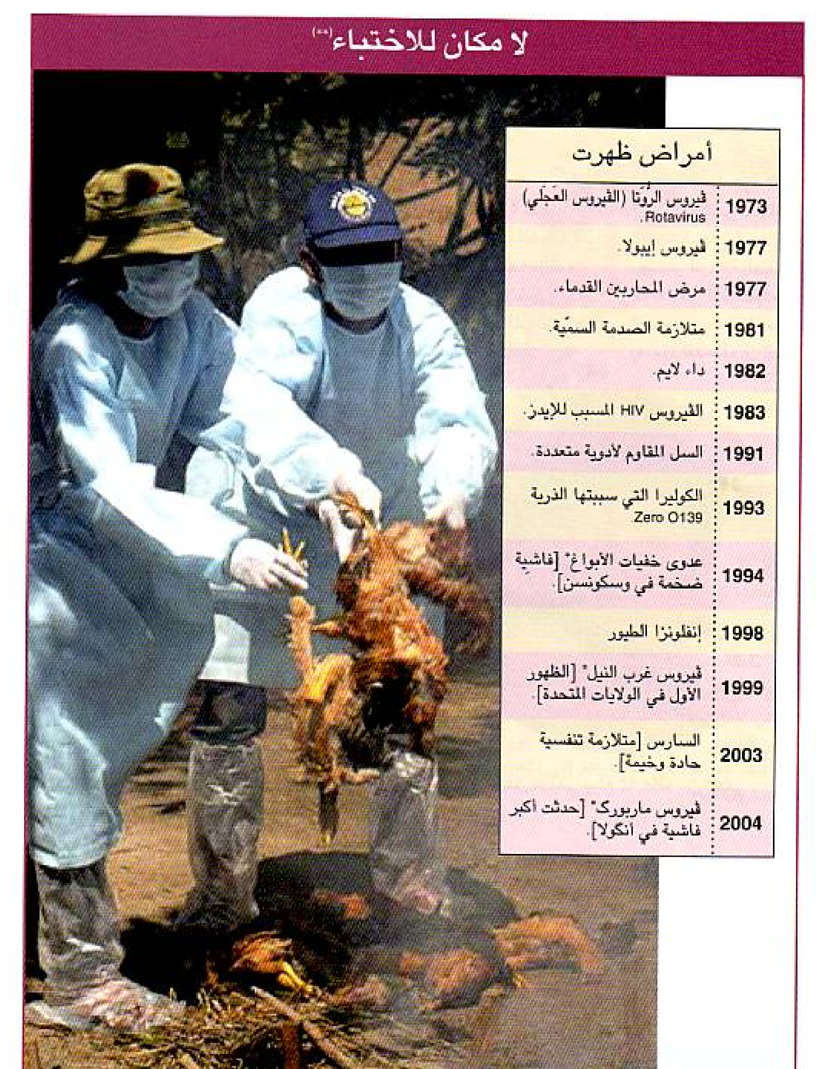
الشباب الصغار عن البدء بالتدخين، وعن طريق وضع السياسات وسن القوانين التي تمنع الإعلان عن التبغ وتحظر التدخين في الأمكنة العامة.

وبالنسبة إلى الأطفال، هناك استراتيجيتان واقيتان أخريان ستحسِّنان الصحة إلى درجة كبيرة هما: إطعام سيئي التغذية وتزويدهم بالڤيتامينات والمعادن، والحد من زيادة وزن ذوي التغذية المفرطة.

ومن الواضح أن الوقاية جانب حاسم أيضا في التعامل مع الأمراض المعدية الجديدة الناشئة؛ إذ من الأفضل إيقافها قبل بدئها بالانتشار. إن بوسع عامل مُمْرِض شديد **العدوى** contagion وسريع السراية[1] أن يجعل جهود الحجر الصحي بلا جدوى. ونحن بحاجة إلى نظم مراقبة عالمية قوية إضافة إلى النظم الوطنية، قادرة على إظهار استجابات سريعة حيال الأخطار التي ندركها، نظم تستطيع تعرّف كل من الأمراض التي تظهر على نحو طبيعي وتلك التي تسببها **عوامل** agents الإرهاب البيولوجي.

وإننا نحتاج أيضا إلى مختبرات تستطيع تحديد هوية الميكروبات (الجراثيم) المجهولة، وإلى أقسام صحية تتمتع بالقدرة على التواصل والتنسيق مع جهات متعددة. وقد حالفنا الحظ حتى الآن؛ إذ أمكن بنجاح حصر الفاشيات الأخيرة للأمراض الجديدة، ونعني السارس (SARS) في آسيا والوباء إيبولا في إفريقيا. ولكن يجب علينا أن نبقى متيقظين؛ إذ إن الأمر لا يعدو كونه مسألة وقت قبل أن يظهر إلى الوجود عامل مرضي يهلك قسما كبيرا من البشر.

لا مكان للاختباء[**]



	أمراض ظهرت
1973	فيروس الرُّوتا (الفيروس العَجَلي) Rotavirus.
1977	فيروس إيبولا.
1977	مرض المحاربين القدماء.
1981	متلازمة الصدمة السمّية.
1982	داء لايم.
1983	الفيروس HIV المسبب للإيدز.
1991	السل المقاوم لأدوية متعددة.
1993	الكوليرا التي سببتها الذرية Zero O139.
1994	عدوى خفيات الأبواغ* [فاشية ضخمة في وسكونسن].
1998	إنفلونزا الطيور
1999	فيروس غرب النيل* [الظهور الأول في الولايات المتحدة].
2003	السارس [متلازمة تنفسية حادة وخيمة].
2004	فيروس ماربورك* [حدثت أكبر فاشية في أنكولا].

تمثل الأمراض المعدية (الخامجة) الجديدة، التي لا يملك البشر إلا مناعة قليلة ضدها، تحديات في وجه الصحة العامة. والأمراض المذكورة في الجدول مدرجة حسب زمن الإبلاغ عن العامل المسبب لها أو زمن بروزها الواضح مرة ثانية (*النجمة*). وباستثناء الفيروس HIV المسبب للإيدز، لم ينتج من أي منها ضرر عالمي. غير أن ذاك الطالع الحسن قد لا يستمر. إن المختصين بالوبائيات يخشون إنفلونزا الطيور بصفة خاصة، ويقولون إن الأمر لا يعدو كونه مسألة وقت فقط حتى تنتقل ذرية مميتة منها سريعا من إنسان إلى آخر، مطلقة عنان جائحة عالمية. وفي محاولة لمنع الجائحة، أتلف العاملون في ڤيتنام في الشهر 2005/1 آلاف الدجاج في إحدى المزارع التي ظهرت على الطيور فيها أعراض الإنفلونزا (*الصورة*).

بنية تحتية غير ملائمة[*]

إن التلاعب بهذه الأولويات جميعها صعب في حد ذاته لما لها من أهمية كبرى، غير أن الحالة ازدادت سوءا بسبب عدم ملاءمة النظم الصحية العامة على المستوى العالمي. وقد سلط تسونامي 2004 الضوء على الحاجة الماسة إلى نُظم صحية ملائمة وجعلها شديدة الوضوح. فلقد هبت الحكومات ووكالات الغوث الدولية إلى العمل السريع، ولكن لم يكن لديها سلطة مركزية ترجع إليها، كما لم تكن هناك بنية تحتية تصلح للتعامل مع كارثة لها تلك الأبعاد الدولية، ولا مركز محدد لإصدار الأوامر، ولا قائمة مهيأة بأسماء الوكالات وذوي الشأن المسؤولين للاتصال بهم. ومع جميع الخطوات التي تمت في مجال الصحة العامة في السنوات الأخيرة، فحينما ضرب تسونامي ضربته لم يكن أحد يملك خطة

(*) Inadequate Infrastructure
(**) No Place To Hide
(1) transmission

ثماني خطوات حاسمة(*)

ما من وصفة واحدة تنطبق على الأمكنة جميعها، إلا أن تنفيذ التوصيات التالية سيُحْدِث فرقا هائلا في أصقاع الأرض.

1. مراقبة الإعلان عن التبغ ومبيعاته وإدمانه.
إن هذه هي الطريقة الوحيدة الأشد فعالية لمنع المرض في الأقطار الغنية والفقيرة على حد سواء. ومؤخرا، وقّع 192 بلدا، بما فيها الولايات المتحدة على النظام الخاص باتفاقية مكافحة التدخين. وهذه المعاهدة التي ترعاها منظمة الصحة العالمية تحدّد أهدافا للإقلال من دعايات التبغ ومبيعاته للأطفال، لأنه إذا تجنب الصغار التدخين وبلغوا 24 عاما من العمر فإن 95 في المئة منهم لن يدخنوا أبدا. ويتمثل التحدي الآن في دعم جهود تحقيق هذه الأهداف.

2. وضع الأطفال على قمة جدول الأعمال العالمي
هناك استراتيجيتان بسيطتان في مفهومهما ستقللان على نحو واضح من المرض والعجز بين الأطفال، هما: إطعام الذين يعانون سوء التغذية الناجم عن نقص الكالوريات (الحريرات) والمغذيات؛ وتقديم الأغذية المتوازنة وفرص الرياضة الأفضل للذين يفرطون في تناول الأطعمة. يضاف إلى ذلك إعطاء اللقاحات للأطفال كافة.

3. إنقاص الفوارق الصحية عن طريق دعم أهداف الألفية الصحية للأمم المتحدة
إن هذه الأهداف المصممة لإنشاء شبكة سلامة للجميع تقدم مجموعة أساسية من المداخلات الصحية. وتشمل هذه تلقيح الأطفال ومعالجة الإيدز والسل والملاريا (البرداء)، وإجراءات أخرى للإقلال من وفيات الأمهات

4. إدخال التحليل الإحصائي في كافة نواحي تخطيط الرعاية الصحية
إن البيانات حول السنوات الضائعة بسبب العجز والأذيات والوفيات المبكرة تساعد على إيضاح الطريقة التي تستطيع الدول بوساطتها استخلاص أكبر فائدة مما تنفقه من دولارات في مجال الرعاية الصحية. ويمكن استخدام هذه المعلومات لوضع الحكومات موضع المسؤولة عن رفاهية سكانها.

5. إيقاف هجرة العقول
إن الطلبة الذين يسافرون للحصول على التدريب الطبي هم بحاجة إلى حوافز للعودة إلى أوطانهم. ويجب على البلدان الغنية أن تدعم تدرب العاملين في مضمار الرعاية الصحية بالدول الفقيرة، وأن تساعد على إيجاد ظروف تشجع بقاءهم في أوطانهم، وأن تقدم تعويضات للأقطار التي يغادرها عاملوها الصحيون. فما فائدة العقاقير واللقاحات في العالم إن لم يكن هناك أحد يعطيها للمحتاجين إليها؟



مدخن صيني يبلغ 12 عاما من العمر

6. الاستفادة من نظام مراقبة للأمراض المعدية (الخامجة)
إن وجود نظام يتعرف التهديدات الصحية كافة ـ بما في ذلك الإرهاب البيولوجي والأمراض المعْدية الناشئة ـ أمر أساسي. إضافة إلى ذلك، إن الحكومات بحاجة إلى رعاية أشكال التعاون مع الدوائر الصحية وبعضها مع بعض. والغاية من ذلك اتخاذ الخطوات الفورية ردا على أية تهديدات يتم رصدها.

7. الإقلال من التهديدات التي تطرحها المصادر البيئية
يجب على إحدى الوكالات الدولية أن تحدد معايير عالمية لتلوث الهواء والماء، وأن تقدر أيضا الأثر الاقتصادي الذي تخلفه الأمراض المزمنة التي تسببها هذه التهديدات.

8. تطوير بنية صحية عالمية
هناك تعقيدات متأصلة في طبيعة الصحة العالمية، ولذا لن تتحسن هذه إلا إذا تألفت شراكات جديدة بين الحكومات والمنظمات غير الحكومية والمجموعات الصناعية والجامعات. إن الرعاية الصحية مرتبطة بالتعليم والتمويل والنقل والتجارة والهجرة والاتصالات والبيئة. ومن الواضح أن عبء الأمراض العالمي لا يمكن إصلاحه بوساطة القطاع الصحي العام وحده.

جاهزة لتنسيق جهود المساعدات الطارئة التي وجب تقديمها لأكثر من خمسة أقطار، حيث ظهر العديد من المشكلات الصحية والبيئية والخراب الاقتصادي والبنيوي.

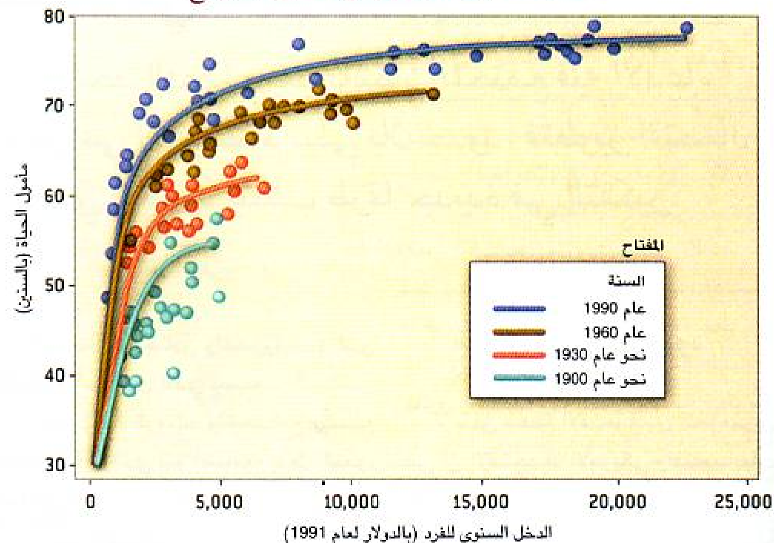
وكذلك لا توجد بنية عالمية للتعامل مع التهديدات الصحية الأخرى التي تنتقل عبر الحدود الوطنية. ولا يستطيع وزراء الصحة وحدهم حماية بلدانهم. فالربو في الولايات المتحدة، مثلا، قد يُستثار بمحطات توليد الطاقة الكهربائية المعتمدة على احتراق الفحم في الصين. وعلى ذلك، فالوقاية ممكنة فقط إن كان رئيس الوزراء في الصين ووزير الطاقة هناك جزءا من الحل. وشبيه بذلك، إذا كان ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية سببا في نشر الملاريا (البرداء) نحو الشمال، فالجهود الرامية إلى وضع حد للتغير المناخي عن طريق الإقلال من غازات الاحتباس الحراري (الدفيئة) سيتطلب مشاركة رئيس الولايات المتحدة. إن العالم بحاجة إلى بنية تحتية تمكّن صانعي القرارات من التعامل مع مشكلات الصحة والاقتصاد والبيئة والأمن القومي بطريقة متكاملة.

كما أن وجود البنية التحتية الدولية ضروري للتعامل مع التهديدات الصحية العالمية، فمن واجب كل قطر أن يمتلك نظام الصحة العامة الخاص به، أي: دائرته الصحية ومدارسه الطبية وعياداته المزودة بالمختصين. ولكن لسوء الطالع، إن جهاز العاملين الصحيين المؤهلين ـ ومعه المؤسسات المعنية كالجامعات والمراكز الطبية اللازمة لتدريبهم ـ هو حجر أساس مفقود في أمكنة عديدة.

وتزداد المشكلة تفاقما بسبب هجرة العقول. فالكثير من العاملين في مجال الرعاية الصحية في الأقطار النامية يهاجرون

(*) Eight Critical Steps





إن توافر المال مهم للصحة، ويتضح هذا من الطريقة التي يرتفع بها العمر المتوقع عند الولادة مع ازدياد الدخل كما تبينه الخطوط *البيانية أعلاه* [كل نقطة تمثل دولة]. ولكن الصحة مهمة أيضا للثروة؛ فالفقراء جدا يغلب أن يموتوا مبكرين، ولذا فهم أقل قدرة على الإسهام في التنمية الاقتصادية لبلدانهم. وليس المال إلا واحدا من محددات الصحة. وفي المتوسط، إن الناس في أغنى الدول عام 1900 أمكنهم توقع أعمار أقصر بشكل واضح من أعمار أغنى الناس الذين كانوا يعيشون في أقطار أخرى لديهم دخل مساو لدخل أولئك في العام نفسه. ويرجع ذلك جزئيا إلى افتقارهم إلى المعرفة المستمدة من الأبحاث البيولوجية الطبية العصرية وأبحاث الصحة العامة.

إلى أقطار أغنى مدفوعين بالأجور الأعلى وشروط العمل الأفضل. والإحصائيات خير دليل على ذلك. لقد هاجر 30 في المئة من ممرضات زامبيا إلى المملكة المتحدة في سنة واحدة، وتهاجر نسبة تفوق الأولى من الفلبين كل عام. أما في مالاوي، حيث يهاجر معظم العاملين في الرعاية الصحية أو يقعون هم أنفسهم فريسة للأمراض المعدية، فإن ثلاثة أرباع عدد الوظائف التمريضية شاغرة. وفي جنوب إفريقيا هجر محترفون كثر تلك المراكز، وهناك 4000 طبيب و 32 000 ممرضة عاطلين عن العمل.

على مفترق طرق(**)

إن طريقة استجابة العاملين في مجال الصحة والقادة السياسيين ومؤسسات الصحة العامة تجاه التحديات الراهنة، ستقرر إلى حد كبير صورة العالم في العام 2050 وما بعده. هل سينجح النضال لتحقيق الصحة والاستقرار ومستوى المعيشة اللائق للناس الواقعين في شرك المرض والفقر؟ هل ستصل المعرفة الطبية والتقانات المسلَّم بها في البلدان المتطورة إلى الذين يفتقرون إلى الأساسيات كالماء النظيف وبعض المضادات الحيوية (الصادات)؟ هل سنعيش في عالم يكتنفه ارتفاع **معدلات المراضة والوفيات**(1) ويخربه التفاوت وانعدام المساواة المتزايدان؟ أم هل سنكون قد حققنا تقدما واضحا في تعزيز الصحة الجيدة والرعاية الصحية العادلة وفرص النمو الاقتصادي في أقطار المعمورة كافة؟

إن البنى التحتية - المحلية والوطنية والدولية - اللازمة لتحقيق المستوى الصحي الأمثل لغالبية البشر على كوكب الأرض أمر مفقود إلى حد مؤلم، كما أن الرؤية الواضحة مفقودة في أصقاع عديدة. وليس بوسع أحد أن يتنبأ بتأكيد مطلق ما نوع العالم الذي سيرثه أبناؤنا. ولكن الأمر الوحيد المؤكد هو أن خطوات التقدم السريعة في علوم الحياة، متضافرة مع جهود الصحة العامة المنسجمة، يمكنها أن تسهم على نحو مهم في إيجاد عالم أكثر استدامة وعدلا. ■

(*) Relation Between Income And Life Expectancy
(**) At the Crossroads
(1) rates of morbidity and mortality

المؤلف

Barry R. Bloom

*عميد وأستاذ كرسي <J. L. و J. H. جاكوبسون> للصحة العامة في كلية هارڤارد للصحة العامة. وكرائد في الصحة الدولية، عمل مع منظمة الصحة العالمية أكثر من 30 سنة، وخدم في مجالس استشارية قومية متعددة، كما عمل مستشارا للبيت الأبيض. حاز جائزة بريستول مايرز - سكويب الأولى للأبحاث المتميزة في الأمراض المعْدية (الخمجية) وذلك مكافأة على دراسته عن الاستجابة المناعية للسل. حصل **بلوم** على الماجستير من كلية أمهرست وهارڤرد وعلى الدكتوراه من جامعة روكفلر. وهو أيضا عضو في الأكاديمية الوطنية للعلوم ومعهد الطب والأكاديمية الأمريكية للآداب والعلوم.*

مراجع للاستزادة

Burden of Disease: Implications for Future Research. C.M. Michaud, C.J.L. Murray and B. R. Bloom in Journal of the American Medical Association, Vol. 285, No. 5, pages 535–539; February 7, 2001.

Information on emerging infections and U.S. health satistics is available at the Centers for Disease Control and Prevention Web site: **www.cdc.gov**

Millions Saved: Proven Successes in Global Health is at the Center for Global Development Web site: **www.cgdev.org/Publications/millionssaved/**

World Development Report (for various years) is at the World Bank Web site: **www.worldbank.org**

Macroeconomic and Health: Investing in Health for Economic Development and **World Health Report** (for various years) are at the World Health Organization site: **www.who.org**

الاقتصاد في عالم متخم[*]

اتسع الاقتصاد العالمي إلى الحد الذي لم يعد بإمكان المجتمع فيه الادّعاء بكل طمأنينة، القدرة على العمل في إطار نظام بيئي بلا حدود. فتطوير اقتصاد مستدام في الفضاء الحيوي المحدود يتطلب طرقا جديدة في التفكير.

<H. E. دالي>

لقد شاع على نطاق واسع بأن النمو هو الترياق لجميع العلل الاقتصادية للعالم المعاصر:

الفقر؟ فقط اعمل على إنماء الاقتصاد (أي اعمل على زيادة الإنتاج من السلع والخدمات ونشِّط الإنفاق لدى المستهلك) وترقّب تناقص الثروة. ولا تحاول إعادة توزيع الثروة من الغني إلى الفقير، لأن ذلك يبطئ النمو.

البطالة؟ زد في الطلب على السلع والخدمات عبر تخفيض معدلات الفائدة على القروض وتنشيط الاستثمار، وهذا يؤدي إلى إيجاد مزيد من فرص العمل ويحقق المزيد من النمو.

الزيادة السكانية المفرطة؟ يكفي أن تدفع بالنمو الاقتصادي إلى الأمام وتعتمد على ما يترتب عليه من تحوّل ديموغرافي، فتنخفض معدلات الولادة، مثلما فعل النمو في البلدان الصناعية خلال القرن العشرين.

التدهور البيئي؟ ثق بمنحني كوزنيتس البيئي، الذي يمثل علاقة تجريبية تبرهن ظاهريا على أن التلوث يزداد في بداية الأمر مع زيادة النمو في الناتج المحلي الإجمالي، ليصل في النهاية إلى حد أقصى، ثم يتجه بعدئذ إلى الانحدار.

كان من الممكن الاعتماد على تقدّم النمو على النحو المتقدم ذكره لو أن الاقتصاد العالمي كان قائما في فراغ. لكن الأمر ليس كذلك، فالاقتصاد نظام تابع للفضاء العضوي المحدود الذي يقوم بدعمه، وعندما يؤدي توسع الاقتصاد إلى انتهاك النظام البيئي في محيطه، عندها تبدأ التضحية برأس المال الطبيعي (كالأسماك والمعادن والمحروقات) الذي يفوق رأس المال الذي يصنعه البشر بعملهم (كالطرقات والمصانع والسلع التطبيقية) والذي تتم إضافته بفعل النمو. عندئذ يصبح لدينا ما يسمى النمو غير الاقتصادي، الذي ينتج مساوئ (سلع رديئة) أكثر مما ينتج من **المنافع** (**السلع الجيدة**) goods، الأمر الذي يفقرنا ولا يغنينا (*انظر الإطار في الصفحة 63*). حالما نتجاوز البعد الأمثل يصبح النمو عملا أحمق في الأجل القصير، وتستحيل المحافظة عليه في المدى الطويل. ومن الواضح أن الولايات المتحدة دخلت بداهة مرحلة «النمو غير الاقتصادي (*انظر الإطار في الصفحة 65*).

وليس بالأمر السهل الاعتراف بالنمو غير الاقتصادي وتلافيه. فالمشكلة أن بعض الناس ينتفعون من النمو غير الاقتصادي، وبذلك لا تكون لهم حوافز على التغيير. إضافة إلى ما تقدم، فإن حساباتنا القومية (الأمريكية) لا تتضمن على نحو صريح تكاليف النمو بجميع مكوناتها وفقا لما يراه الجميع.

يتحتم على الجنس البشري أن يحقق الانتقال إلى الاقتصاد القادر على تحقيق الاستدامة. اقتصاد يولى فيه الاهتمام للحدود الفيزيائية العضوية الكامنة في النظام البيئي الشامل، بحيث يمكن لهذا النظام أن يستمر في الأداء مدة طويلة في المستقبل. أما إذا لم نأخذ بهذا الانتقال فقد نقع في بلاء لا يقتصر على النمو غير الاقتصادي، وإنما قد يؤدي إلى كارثة بيئية تخفض مستوى المعيشة تخفيضا حادا.

الفضاء الحيوي المحدود[**]

لا يتفق معظم الاقتصاديين المعاصرين على أن الاقتصاد الأمريكي واقتصاديات أخرى تدخل سريعا مرحلة النمو غير الاقتصادي، ويتجاهلون بشكل كبير مسألة الاستدامة، واثقين بأنه مادمنا قد بلغنا هذا البعد في درب النمو، فإنه يمكننا المحافظة عليه بالمضي فيه إلى ما لانهاية. بيد أن للقلق على الاستدامة تاريخا طويلا يعود إلى عام 1848 وإلى الفصل الشهير الذي كتبه <J. ميل> في الكتاب بعنوان «الدولة الراكدة»[1]، وقد رحب <ميل> بها خلافا للاقتصاديين الكلاسيكيين الآخرين. أما المقاربة المعاصرة للمسألة فترجع إلى الأعمال التي قام بها <K. بولدينك> و<E. شوماخر> و<G .N. رويكن> في الستينات والسبعينات من القرن العشرين. وهذا التقليد تولاه أولئك المعروفون بالاقتصاديين البيئيين (كما هي حالي)، كما واصلته إلى حدٍّ ما مجموعة من فروع علم الاقتصاد السائد والمسماة اقتصاديات الموارد والبيئة. وإجمالا، فإن الاتجاه العام عند الاقتصاديين المعروفين بالاقتصاديين الكلاسيكيين الجدد، يعتبر أن إعطاء الأولوية للاستدامة نوع من البدعة أو الموضة، وهم في معظمهم ملتزمون بموضوع النمو.

لكن الحقائق بسيطة ولا يمكن إنكارها، وهي أن الفضاء الحيوي محدود ولا ينمو، وهو مغلق (باستثناء المدخل الثابت من الطاقة الشمسية)، كما أنه

(*) ECONOMICS IN A FULL WORLD
(**) The Finite Biosphere
(1) Of the Stationary State

محكوم بقوانين الترموديناميك. وينبغي لأي **نظام فرعي** subsystem كالاقتصاد أن يتوقف عند حدٍّ ما عن النمو وأن يكيّف نفسه مع توازن دينامي، كحالة مستقرة. كما ينبغي لمعدلات الولادات أن تساوي معدلات الوفيات، ولمعدلات إنتاج السلع أن تساوي معدلات الاهتلاك.

خلال حياتي (المؤلف ـ 67 سنة) تضاعف سكان العالم ثلاث مرات، كما زاد عدد الأشياء والمصنوعات البشرية أو الأشياء التي أنتجها الناس بمعدل يفوق الزيادة العالمية في السكان. وتدل دراسات آثار الإجهاد البيئي[1] على أن مجمل الطاقة والمواد المطلوبة من أجل المحافظة على مصنوعاتنا البشرية واستبدالها قد زاد زيادة ضخمة أيضا. وإذ يصبح العالم المتخم بنا وبأشيائنا فارغا مما كان يحويه من قبل، يحتاج العلماء للتعامل مع هذا الأنموذج من الندرة إلى تطوير علم اقتصاد «عالم متخم» ونستعيض به عن علم اقتصاد «عالم فارغ» مثل علم الاقتصاد التقليدي الذي نعتمد عليه حاليا.

إن دراسة **الاقتصاد الميكروي (الجزئي)** microeconomic، وهو فرع الاقتصاد الذي يندرج تحته قياس دقيق وموازنة بين التكاليف والمنافع المتعلقة بأنشطة محددة، تُمكّن الأفراد ورجال الأعمال من تكوين مؤشر واضح حول توقيت التوقف عن التوسع في نشاط اقتصادي معين. بيد أنه عندما يتسع أي نشاط اقتصادي فإنه قد يطرد بعض الشركات الأخرى، وهذا التهجير أو الانتقال البشري ينقل بعض المؤسسات الاقتصادية الأخرى ويعتبر ذلك الانتقال تكلفة اقتصادية. ويتوقف الناس عند نقطة تكون فيها **التكلفة الحدية** marginal cost معادلة للربح الحدي. وبعبارة أخرى، لا يستحق الأمر إنفاق دولار آخر على قطعة من الحلوى عندما تمنحنا إشباعا يقل عما يتحقق من سلعة أخرى قيمتها أيضا دولار واحد. إن **الاقتصاد الماكروي (الكلي)** macroeconomic المعهود، وهو



تغصّ البيئة بتلك الأشياء التي صنعها الإنسان. وطرق التفكير حول الاقتصاد التي نجح استخدامها في عالم غير متخم، لم تعد كافية في عالم متخم.

دراسة الاقتصاد برمته، ليس له قواعد مماثلة حول «توقيت التوقف.»

إن إقامة اقتصاد مستدام والحفاظ عليه تستلزم تغييرا واسعا في الفكر والقلب لدى الاقتصاديين والسياسيين والناخبين، وهذا التغيير يمكن أن يجعل المرء يعتقد باستحالة مشروع كهذا. لكن البديل عن اقتصاد مستدام هو اقتصاد متواصل النمو، وهذا يبقى أمرا مستحيلا من الناحية الحيوية المادية. ولدى الاختيار بين معالجة استحالة سياسية واستحالة أخرى مادية حيوية، يمكن اعتبار الاستحالة الأخيرة أشد استحالة من سابقتها، بحيث ينبغي أخذ الفرصة للتجريب في الأولى.

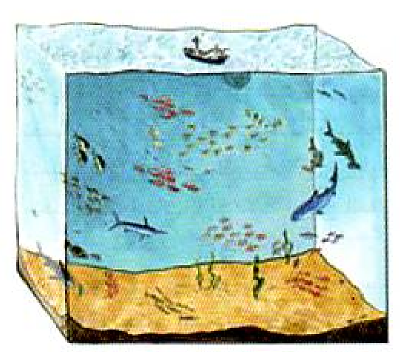
ما الذي ينبغي أن يكون مستداما؟[*]

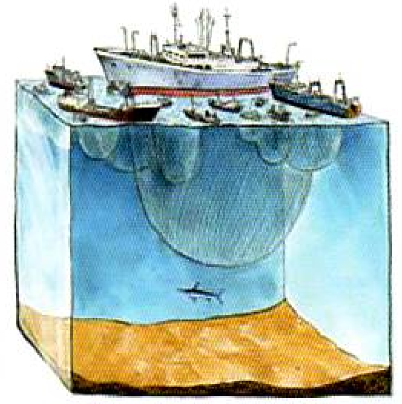
لم أصف «الاقتصاد المستدام» حتى الآن إلا بعبارات عامة، وذلك باعتبار أنه اقتصاد يمكن المحافظة عليه على نحو غير محدود، وصولا إلى المستقبل، بمواجهة الحدود المفروضة للبيئة العضوية. إذا أردنا أن يتحقق اقتصاد كهذا، فإنه ينبغي لنا أن نحدد بالضبط ما هو المراد إدامته من عام إلى آخر. وقد ناقش الاقتصاديون خمسة مفاهيم لتحقيق الاستدامة وهي: الناتج المحلي الإجمالي (GDP)، **المنفعة** utility، **المردود** throughput utility، رأس المال

(*) What Should Be Sustained?
(1) ecological footprint

الطبيعي، ورأس المال الشامل (الذي يضم رأس المال الطبيعي ورأس المال الصنعي: أي المصنوع من قبل الإنسان).

يعتقد بعض الناس أنه ينبغي لاقتصاد مستدام أن يحقق الاستمرار للنمو والارتفاع في معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي. ووفقا لهذا الرأي، فإن الاقتصاد المستدام يعادل اقتصاد النمو، والسؤال فيما إذا كان النمو المستدام ممكنا من الناحية «الطبيعية العضوية» biophysically، مغالط فيه. فالهدف السياسي من هذا الموقف يتحدد باستخدام الكلمة الرنانة «مستدام» بتأثيرها





لا يمكن لرأس المال الصنعي (من صنع الإنسان) أن يحل محل رأس المال الطبيعي. في السابق، كان حجم الصيد في البحر يتحدد بعدد زوارق الصيد (وهي رأس مال صنعي) *(الصورة في اليسار)*. أما اليوم فقد أصبح العامل المحدد هو عدد الأسماك في المحيط *(الصورة في اليمين)*. فبناء مزيد من سفن الصيد لن يزيد كميات الصيد. وهكذا، لكي تؤمن الأمم صحة اقتصادية طويلة المدى ينبغي لها أن تحقق الاستدامة في مستويات رأس المال الطبيعي (كالأسماك) وليس الثروة الإجمالية.

مفترق طرق أمام الاقتصاد[*]

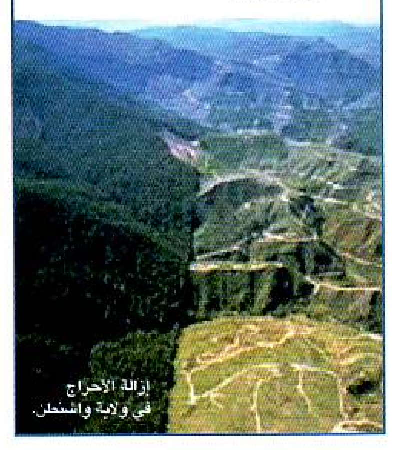
المشكلة:

- هي أنه لا يمكن مستقبلا المحافظة على الوضع الاقتصادي القائم. وإذا لم تجر تغييرات جذرية عليه، فإننا سنواجه خسارة في مستوى الرفاهية وكارثة بيئية محتملة.

الخطة:

- ينبغي تحويل الاقتصاد بحيث تصبح استدامته ممكنة على المدى الطويل؛ الأمر الذي يستوجب اتباع الوصفات الثلاث التالية:

1. تخفيض معدلات استخدام الموارد بما يؤدي في نهاية الأمر إلى مستويات من النفايات يمكن للنظام البيئي أن يمتصها.
2. استثمار المصادر المتجددة بمعدلات لا تتجاوز قدرة النظام البيئي على تجديد الموارد.
3. استنضاب الموارد غير المتجددة بمعدلات لا تتجاوز (ما أمكن) معدل النمو في الموارد المتجددة البديلة.



إزالة الأحراج في ولاية واشنطن.

الخطابي المهدئ من دون أن تعني شيئا محددا. وحتى محاولة تعريف الاستدامة بدلالة الناتج المحلي الإجمالي (GDP) للأسعار الثابتة مسألة إشكالية، لأن الناتج GDP يقوم على الدمج بين التحسين النوعي (المعبَّر عنه بالنوعية) والزيادة الكمية (المعبر عنها بالنمو).

ويتحتم على الاقتصاد المستدام أن يتوقف في وقت ما عن النمو، لكنه بحاجة إلى الاستمرار في إحداث التنمية. وليس هناك من سبب للحد من التحسين النوعي في تصميم المنتجات الذي يمكن أن يعمل على زيادة الناتج المحلي الإجمالي من دون أن يزيد كمية الموارد المستخدمة أو المستعملة. فالفكرة الأساسية الكامنة وراء الاستدامة هي الانتقال بدرب التقدم من النمو غير المستدام إلى التنمية، التي تُفترض فيها الاستدامة.

أما المقياس الكمي الثاني وهو المنفعة، فإن مرجعيتها هي مستوى «تلبية الرغبات» أو مستوى الرفاه لدى السكان. لقد جنح الاقتصاديون الكلاسيكيون النظريون الجدد إلى تعريف قابلية الاستدامة بأنها المحافظة على المنفعة (أو زيادتها) عبر الأجيال. لكن هذا التعريف عديم الفائدة عمليا؛ لأن المنفعة تجربة وليست شيئا، وليس هناك وحدة متاحة لقياسها، كما لا يمكن توريثها من جيل إلى آخر.

وعلى النقيض من ذلك، فإن الموارد الطبيعية (وهي الخاصة الكمية الثالثة) ليست إلا أشياء، إذ يمكن قياسها وتوريث «المدخلات منها» أو معدل استخدامها الاقتصادي بأخذها من مصادر الطاقة المهدورة في النظام البيئي وتحويلها إلى منتجات مفيدة وطرحها في النهاية في البيئة نفايات استنفدت الفائدة منها إلى الحد الأدنى *(انظر الإطار في الصفحة 64)*. يمكن تعريف الاستدامة بدلالة المردود وذلك بتحديد طاقة البيئة على توفير الخامات وقدرتها على امتصاص نفايات المنتجات بعد استهلاكها.

والموارد، في نظر الاقتصاديين، شكل من أشكال رأس المال أو الثروة، يراوح نمطها بين مخزون المواد الأولية إلى المنتجات النهائية والمصانع. وهناك نمطان لرأس المال بالمفهوم الواسع: رأس المال الطبيعي ورأس المال الصنعي (الذي يصنعه الإنسان). ويعتقد معظم الاقتصاديين الكلاسيكيين الجدد أن رأس المال الصنعي بديل نافع عن رأس المال الطبيعي، لذلك فهم ينادون بالحفاظ على قيمة الاثنين معا، وهذه مقاربة تدعى استدامة ضعيفة[1].

أما الاقتصاديون البيئيون بمن فيهم كاتب هذه السطور، فيعتقدون أن رأس المال الطبيعي والصنعي متكاملان أكثر من كون أحدهما بديلا عن الآخر. ويعتقدون أن رأس المال الطبيعي ينبغي أن يصان بحد ذاته، لأنه أصبح عامل التقييد[2]، وهو الهدف المسمى

(*) Crossroads for The Economy
(1) weak sustainability
(2) limiting factor

بالاستدامة القوية. فعلى سبيل المثال، أصبح رأس المال الطبيعي من التجمعات السمكية في البحر يتحدد بحجم الصيد السنوي من الأسماك ولم يعد يتحدد برأس المال الصنعي المتمثل في مراكب الصيد. ولعل الاستدامة الضعيفة تدفع بالرأي القائل إنه يمكن أن يعالج نقص الأسماك الشديد ببناء المزيد من مراكب الصيد. أما الاستدامة القوية فتقرّ بأن لا جدوى من زيادة المراكب المعدة للصيد إذا ندر السمك في المحيط، وتلح على الحد من كمية الصيد من أجل ضمان المحافظة على تجمعات سمكية كافية لصيادي المستقبل.

إن أكثر السياسات توافقا مع الحفاظ على رأس المال الطبيعي تتمثل في **نظام الحد من التجارة** cap and trade system (ضع حدا أعلى-و-تاجر)[1]، حيث يوضع حد للكمية الإجمالية من الإنتاج خلال فترة محددة، وذلك بما يتطابق مع قدرة البيئة على إعادة توليد الموارد أو امتصاص التلوث. فالحق في إنضاب الموارد، كالمحيطات، أو في تلويث المجاري أو المنخفضات، يجب أن يخضع لضوابط؛ إذ إن الغلاف الجوي لم يعد سلعة مجانية، وإنما صار موردا نادرا يمكن شراؤه وبيعه في السوق الحرة، حالما تتحدد ملكيته الأصلية. إن نظم الحد من التجارة المطبقة تتضمن مخطط وكالة حماية البيئة[2] الذي يقوم على مقايضة التصاريح المتعلقة بانبعاث ثنائي أكسيد الكبريت في الجو، وكذلك تقليص نيوزيلندا الصيد المفرط من خلال منح حصص فردية قابلة للتداول.

إن نظام الحد من التجارة هو مثال على التباين بين الأسواق الحرة والسياسات الحكومية. والنظرية الاقتصادية قد تعاملت تقليديا وبصفة أساسية مع المخصصات المرخصة (الموارد النادرة بين الاستخدامات المتنافسة). ولكن لم يجرِ التعامل مع مسألة الحجم (أي الحجم الفيزيائي للاقتصاد المتعلق بالنظام البيئي). فالأسواق العاملة بشكل سليم تضبط توزيع الحصص على نحو فعّال، لكن هذه الأسواق تعجز عن تحديد الحجم القابل للاستدامة: وهذا أمر لا يمكن تحقيقه إلا من خلال سياسة حكومية.

التعديلات المطلوبة[**]

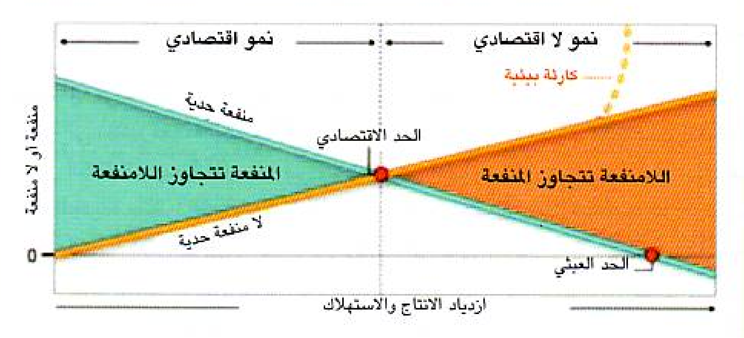
إن الانتقال إلى اقتصاد مستدام قد يحتاج إلى عدة تعديلات في السياسة الاقتصادية، والحق يقال أن بعض هذه التعديلات قد صار ظاهرا للعيان. فعلى سبيل المثال، يواجه نظام التأمين الاجتماعي في

عندما يكون النمو أمرا سيئا[*]

يحدث نمو لااقتصادي عندما تتحقق زيادات في الإنتاج بتكلفة من الموارد والرفاه تفوق قيمة السلع المصنوعة. وهذا النمط من النمو ينشأ عن ميزان غير مرغوب فيه بين كميات تعرف **بالمنفعة** utility في كفته الأولى وأخرى تعرف **باللامنفعة** disutility في كفته الأخرى.

أما المنفعة فهي المستوى الذي تتم فيه تلبية ما يحتاج إليه السكان وما ينشدون: فالمنفعة هي ببساطة مستوى الرفاه لدى السكان. أما اللامنفعة فتتحدد بالتضحيات التي تتطلبها زيادة الإنتاج والاستهلاك، ويمكن لتضحيات كهذه أن تشمل استخدام العمالة وفقدان الرفاه وإنضاب الموارد والتعرض للتلوث والاحتقان.

ومن الطرق التي يمكن بها أن يصاغ مفهوم خاص بالتوازن بين المنفعة واللامنفعة هو وضع رسم بياني لما يمكن تسميته «**المنفعة الحدية**» marginal utility (*الخط الأزرق في الشكل البياني*) و«**اللامنفعة الحدية**» marginal disutility (*الخط البرتقالي*). تُعرّف المنفعة الحدية بأنها كمية الحاجات التي يمكن تلبيتها لدى الانتقال من استهلاك عدد محدد من السلع والخدمات إلى استهلاك وحدة إضافية منها،



وتنخفض المنفعة الحدية عندما يزيد الاستهلاك لأننا نلبي أولا من حاجاتنا أكثرها إلحاحا. أما اللامنفعة الحدية فهي كمّ التضحيات اللازم لإضافة وحدة من سلع الاستهلاك. وتزداد اللامنفعة الحدية مع زيادة الاستهلاك، لأن من المفترض أن يُقدم الناس أولا على أسهل التضحيات.

والحد الأمثل للاستهلاك هوالنقطة التي تتعادل فيها المنفعة الحدية مع اللامنفعة الحدية. وعند هذه النقطة ينعم المجتمع بالمنفعة الخالصة القصوى (*المساحة الزرقاء في الشكل البياني*)، بحيث إذا زاد الاستهلاك متجاوزا تلك النقطة، فإنه يسبب للمجتمع خسارة متمثلة بلامنفعة تفوق ما يجنيه ذلك المجتمع من المنفعة المضافة، كما هو ممثل بالمساحة الحمراء للامنفعة الصافية، وعندها يصبح النمو لااقتصاديا.

وفي نهاية المطاف، يصل السكان ذوو النمو اللااقتصادي إلى **الحد العبثي** futility limit وهو النقطة التي لا تضيف الزيادة في الاستهلاك أي منفعة للمجتمع. وقد تكون البلدان الغنية قاربت الحد العبثي. إضافة إلى ذلك فربما يقع مجتمع ما ضحية كارثة بيئية تؤدي إلى زيادة كبيرة في اللامنفعة (*الخط الأفقي الصغير dashed في الشكل البياني*). وهذا التدمير للبيئة قد يحدث قبل بلوغ الحد العبثي أو بعد تجاوزه.

يمثل الشكل البياني معرفتنا للوضع عند نقطة زمنية محددة. ويمكن للتقانة المستقبلية أن تحرف الخطوط، بحيث تنتقل إلى اليمين المعالم المبينة في الشكل، الأمر الذي قد يتيح زيادة أكثر في الاستهلاك قبل أن تطغى اللامنفعة.

ومع هذا ليس أمرا مأمونا الافتراض بأن التقانات الجديدة تفتح الحدود دائما. فاكتشاف ثقب الأوزون والاحتباس الحراري الشامل مثلا (وكلاهما نتيجتان للتقنيات الجديدة) قد غير الشكل البياني كما كنا نعرفه محوّلا اتجاه خط اللامنفعة نحو الأعلى ومحركا الحد الاقتصادي نحو اليسار ومعيقا بذلك النمو التوسعي.

–H. E. D.

(*) When Growth is Bad

(**) Adjustments Needed

(1) أو «سوق الكربون» carbon market.

(2) Environmental Protection Agency's Scheme

الاقتصاد كساعة رملية(*)



يشبه الاستهلاك البشري للموارد تدفق الرمل عبر عنق ساعة رملية لا يمكن قلبها. ولدينا عرض آخر من الطاقة لا حد له توفره لنا الشمس (الشكل الأيسر)، لكننا لا نستطيع أن نتحكم في معدل مدخلاته. وفي المقابل، نمتلك إمدادات محدودة من الوقود الاحفوري والمعادن (الشكل الأيمن). لكننا نستطيع أن نزيد أو ننقص معدل استهلاكنا من هذه الموارد، فإذا استخدمنا هذه الموارد بمعدلات عالية فإننا نقترض في حقيقة الأمر من الإمدادات التي تخص الأجيال القادمة تحديدا، وتراكم المزيد والمزيد من النفايات في الوسط البيئي، وهذا ما لا يمكن أن يستمر على المدى الطويل.

ويعبر بعض الاقتصاديين عن هذه الوقائع بقوانين فيزيائية، فهم يحاجّون بأن هذا النقص في استدامة الإمدادات أمر يمكن التنبؤ به بفضل القانونين الأولين في الترموديناميك (علم الديناميك الحراري)، وتحديدا قانون انحفاظ الطاقة وهي محدودة وقانون تحول النظم systems من الترتيب إلى الفوضى (من أنتروبية منخفضة إلى أخرى عالية).

ويواصل البشر بقاءهم ويصنعون الأشياء، وذلك باستهلاك الموارد النافعة (أنتروبية منخفضة) ـ من وقود أحفوري ومعادن مركزة ـ من الوسط البيئي وتحويلها إلى نفايات لا نفع فيها (أنتروبية عالية)، وبذلك تتزايد كتلة النفايات بصورة مستمرة (القانون الثاني)، وذلك حتى نقطة محددة يتحول عندها الوقود بأكمله إلى مواد متفتتة لا نفع منها.

الولايات المتحدة مصاعب كثيرة، لأن انتقال الوضع الديموغرافي إلى حالة اللانمو السكاني يؤدي إلى وجود عدد أقل من الناس في سن العمل وعدد أكبر من المتقاعدين. والتعديل اللازم يتطلب فرض ضرائب أعلى ورفع سن التقاعد أو تخفيض الرواتب التقاعدية. وعلى الرغم من التأكيدات المعاكسة، فإن النظام على وشك الوقوع في أزمة، ويلزم القيام بتعديل أو أكثر حتى يستطيع النظام «صيانة نفسه».

عمر المنتج: يتطلب الاقتصاد المستدام «تحولا ديمغرافيا أو سكانيا» لا من الناس فحسب، ولكن من السلع أيضا؛ إذ ينبغي لمعدلات الإنتاج أن تتساوى مع معدلات الاهتلاك. وقد تتكافأ هذه المعدلات في مستويات عليا أو منخفضة، علما بأن المعدلات المنخفضة تكون أفضل من أجل إطالة عمر السلع من ناحية، ولتحقيق الاستدامة من ناحية أخرى. والمنتجات الأطول عمرا والأكثر ديمومة يمكن استبدالها بصورة أبطأ وبذلك فهي تتطلب معدلات أدنى لاستخدام الموارد. ويتماثل هذا التحوّل مع صفة التعاقب البيئي. فالنظم البيئية الفتية المتنامية تجنح إلى تعظيم فعالية النمو مقاسة بكمية الإنتاج من وحدة الطاقة. أما في النظام البيئي المكتمل، فينتقل التركيز إلى تعظيم فعالية الصيانة التي تقاس بمقدار الكتلة الحيوية المصانة في وحدة الإنتاج الجديدة بعكس الفعالية الإنتاجية التي تقاس بكمية الإنتاج. وينبغي لتفكيرنا الاقتصادي ولمؤسساتنا أن تقوم بعملية تحوّل مشابهة فيما لو أريد تحقيق القدرة على الاستدامة. وأحد أشكال التحول في هذا الاتجاه يتمثل في عقود خدمة السلع المؤجرة بدءا بآلات النسخ وانتهاء بالسجاجيد المنزلية. وفي هذا السيناريو يبقى البائع مالكا للسلعة، يصونها ويستصلحها ويعيد تدويرها حتى نهاية عمرها المجدي.

نمو الناتج المحلي الإجمالي: نتيجة للتحسينات النوعية والفعالية المحسّنة يمكن للناتج المحلي الإجمالي أن ينمو، حتى إن ظلت المدخلات المادية ثابتة، ويمكن أن يحدث هذا بقدر كبير في رأي بعض الناس. ولو حدث هذا فإنه سيبهج إخصائيي البيئة لأن استخدامات المواد الحيوية لن تنمو وسيبتهج الاقتصاديون أيضا، لأن الناتج المحلي الإجمالي ينمو في تلك الحالة. إن هذا الشكل من «النمو»، وهو في الواقع تنمية حسبما عرّفناها قبلا، ينبغي أن يُدْفَع به إلى أقصى ما يمكن أن يذهب إليه؛ لكن هناك عوامل عدة تحد من هذه العملية. فقطاعات اقتصادية ظُنّ أنها ستكون أعلى نوعية، مثل تقانة المعلومات، تبيّن لدى فحصها عن قرب بأنها تقوم على قاعدة مادية ضخمة. وكذلك فإنه لكي يكون التوسع الاقتصادي نافعا للفقراء، يلزم أن يقوم على السلع التي يحتاج إليها هؤلاء من ملبس ومسكن ومآكل، وليس على عشرة آلاف وَصْفة من وصفات شبكة الإنترنت. وحتى الأثرياء فإنهم ينفقون معظم دخولهم على السيارات والمنازل والرحلات أكثر مما ينفقون على الأشياء المجردة.

القطاع المالي: غالبا ما يؤدي غياب النمو في اقتصاد مستدام إلى انخفاض معدلات الفائدة، وربما إلى تقلّص القطاع المالي، لأن معدلات الفائدة، والنمو المنخفضة قد لا تستطيع أن تدعم البنية الفوقية الضخمة من التداولات المالية (المعتمدة أساسا على الدين وتوقعات النمو الاقتصادي في المستقبل) التي تضغط حاليا بشدة على الاقتصاد المادي. وفي اقتصاد مستدام يفترض أن يجري الاستثمار من أجل الاستبدال والتحسين النوعي، بدلا من

(*) Economy As An Hourglass

المضـارية على النمو الكمي، وأن يحدث ذلك بأقل مما يجري حاليا.

التجارة: التجارة الحرة ليست مجدية في عالم يضم اقتصاديات مستدامة وأخرى غير مستدامة، لأن الأولى تتضمن بالضرورة تكاليف عديدة تتعلق بالبيئة والمستقبل ويمكن تجاهلها في النمو الاقتصادي. وعندئذ يمكن للاقتصاديات غير المستدامة أن تُسَعِّر بضائعها بأقل مما تفعل الاقتصاديات المستدامة، ليس لأنها أكثر فعالية في أدائها، وإنما لأنها ببساطة لا تتحمّل تكلفة الاستدامة. على أنه يمكن أن تقوم تجارة منضبطة بقواعد تعوض عن تلك الفروق (الاقتصادية في التكلفة البيئية) كالتجارة التي يمكن أن تحصل بين أمم تلتزم بتحقيق الاستدامة على نحو متساو. وينظر كثير من الناس إلى هذه القيود البيئية على التجارة على أنها معيقة مرهقة لها، لكن حقيقة الأمر أن التجارة تخضع حاليا لضوابط شديدة بطرق تؤثر تأثيرا حاسما في البيئة (انظر: «تعزيز تنوع *الحياة*»، في هذا العدد الخاص).

الضرائب: ما هو نمط النظام الضرائبي الذي يتناسب بصورة أمثل مع اقتصاد مستدام؟ إن حكومة معنية باستخدام الموارد الطبيعية بصورة أكثر فعالية يجب أن تلغي الضرائب المفروضة حاليا. فبدلا من فرض ضرائب على العمال والأعمال (على القيم المضافة)، تفرض الضرائب على المواد التي تدخل في الإنتاج (المواد التي تضاف إليها القيمة). ويفضل أن تفرض تلك الحكومة الضرائب المذكورة عند النقطة التي تؤخذ فيها الموارد من **المجال الحيوي** biosphere، أي **نقطة القطع** severance من الأرض. وتفرض عدة دول ضرائب على القطع من الأرض. ومثل هذه الضرائب تحفز على استخدام الموارد استخداما أكثر كفاءة في مجالي الإنتاج والاستهلاك ويسهل نسبيا رصدها، كما تسهل جبايتها. إن فرض ضرائب على ما نريد التقليل منه (استنزاف الموارد أو التلوث في البيئة) والكف عن فرض ضرائب على ما نريد الإكثار منه (الدخل) يبدو خيارا معقولا.

والتخفيض الضريبي (التراجعي) في نطاق ضريبة الاستهلاك (حيث يدفع الفقراء نسبة أعلى من دخولهم من النسبة التي يدفعها الأغنياء)، يمكن أن يصحح فعليا بإنفاق الدخول تصاعديا (أي بالإنفاق المُركز على مساعدة الفقراء)، وذلك بفرض ضريبة على سلع الرفاهية أو اقتطاع ضريبة على الدخول العالية.

العمالة: هل يمكن لاقتصاد مستدام أن يحقق تشغيل العمالة تشغيلا كليا وباستمرار؟ إنه سؤال صعب، ولعل الإجابة عنه تكون بالنفي. لكنه ينبغي للمرء أن يسأل أيضا، من

قياس الرفاه(*)

بقعة تلوث نفطي في ألاسكا.



مكب نفايات نيويورك.

لو أن المرء يعتبر الكيفية التي تجري بها المناقشات في وسائل الإعلام عن الناتج المحلي الإجمالي معيارا للحكم على الأشياء، فإنه قد يظن أن كل ما يتدفق من هذا الناتج أمر حميد؛ لكن الناتج المحلي الإجمالي ليس معيارا للرفاه أو حتى مقياسا للدخل. إنه بالأحرى مقياس للنشاط الاقتصادي الإجمالي. فهو يُعرَّف بأنه القيمة السوقية السنوية للسلع والخدمات النهائية المشتراة، في بلد ما، مقوَّمة بسعر السوق وتضاف إليها الصادرات الصافية بعد تنزيل قيمة الواردات. أما التعبير «نهائي» فيقصد به استثناء السلع والخدمات الوسيطة (أي المدخلات في عمليات الإنتاج اللاحقة) من هذا الناتج.

ولا يطرح من الناتج المحلي الإجمالي اهتلاك رأس المال الطبيعي (كالطرق والمصانع) أو نضوب رأس المال الطبيعي (كالأسماك والوقود الأحفوري). كذلك يتضمن الناتج المحلي الإجمالي في جانب «المضاف» ما يسمى الإنفاق الدفاعي. وهذا الإنفاق الذي نقوم به هو لحمايتنا من النتائج غير المرغوبة في إنتاج السلع واستهلاكها من قبل الآخرين، كالإنفاق على تنظيف البيئة من التلوث، على سبيل المثال. ويمكن اعتبار الإنفاق الدفاعي إنفاقا وسيطا في عملية الإنتاج، ولهذا ينبغي ألا يدرج هذا الإنفاق في الناتج المحلي الإجمالي وكأنه جزء منه. لكن بعض الاقتصاديين يحاجون بغية إدراجه في هذا الناتج لأنه يحسن كلا من الاقتصاد والبيئة. وبعبارة أخرى، إننا نزداد غنى وثروة بأن ينظف كل منا ما يقوم به الآخرون من تلويث بيئي!

وللانتقال من الناتج المحلي الإجمالي إلى مقياس للرفاه المستدام ينبغي إجراء الكثير من التعديلات الموجبة والسالبة في حساب الناتج المحلي الإجمالي. وتتضمن هذه التعديلات المتعددة الخدمات المنزلية غير المدرجة في الحسابات (الخدمات التي تؤديها الزوجات بدون مقابل) والديون الدولية المتزايدة وفقدان الرفاه الناجم عن زيادة التمركز في الدخول (الرفاه الذي يولده كل دولار إضافي للفقير أكبر من ذلك الذي يولده للغني) والأضرار البيئية البعيدة المدى كتآكل طبقة الأوزون، أو ضياع أراضٍ رطبة ومصبات أنهار، وتلوث الماء والهواء، فضلا عن الضجيج.

عندما نجري جميع هذه التعديلات نحصل على مؤشر الرفاه الاقتصادي المستدام (ISEW) كما طوره <C. W. كوب> و <J. B. كوب، جونير>، إلى جانب مقاييس أخرى ذات دلالة.

وقد استخدم اقتصاديون بيئيون هذه المؤشرات، لكن آخرين منهم تجاهلوها بشكل واضح.

وفيما يخص الولايات المتحدة، يتضح أن العوامل السلبية في مؤشر الرفاه الاقتصادي المستدام (ISEW) زادت في بداية الأعوام الثمانين الماضية بأسرع من العوامل الإيجابية. وقد تم تعرّف نتائج مماثلة في المملكة المتحدة والنمسا وألمانيا والسويد. وبعبارة أخرى، إن تكاليف النمو بالنسبة إلى بعض البلدان قد ارتفعت في السنين الأخيرة بأسرع من منافعه.

ومع ما يتصف به هذا المقياس من أهمية وعلى الرغم من صفته التجريبية فإن على المرء أن يتذكر أنه إذا ما قفز في الجو خارج طائرة، فإن مظلة الهبوط تكون أكثر نفعا له من جهاز مقياس الارتفاع.

إن المبادئ الأولى توضح بجلاء أننا نحتاج إلى مظلة اقتصادية للهبوط، كما أن المقاربة التجريبية تبين بوضوح أننا نحتاج إلى تلك المظلة الاقتصادية عاجلا وليس آجلا. أما المعلومات الأكثر دقة، فمع أنه لا تجوز الاستهانة بها، فإنها تبقى غير ضرورية، وأن الانتظار للحصول عليها قد يثبت بأنه مكلف جدا.

40,000 – 30,000 – 20,000 – 10,000
دولار أمريكي (2005)
معدل الناتج المحلي الإجمالي للفرد
مؤشر الرفاه الاقتصادي المستدام للفرد
1950 1960 1970 1980 1990
العام

لقد ظل الرفاه المستدام في الولايات المتحدة مستقرا تقريبا على الرغم من النمو الذي حققه الناتج المحلي الإجمالي.

(*) Measuring Well-Being

مقاربة خاضعة للقياس

إن أكثر الاقتصاديين المعاصرين يتفاءلون بالمستقبل وينوهون بأن الناتج الاقتصادي للعالم الغربي زاد زيادة مرموقة منذ الثورة الصناعية، وهم يلاحظون أن هذه الزيادة كان وقودها تراكم الأرصدة من رأس المال التي تم إنتاجها (كالطرق والآلات والتجهيزات والمباني)، وتحسينات المعرفة والمهارات البشرية والمؤسسات (كالنظام القانوني)، وهم يحاجّون بأنه إذا سمحت المعرفة والمهارات البشرية بتحقيق تراكم عبر التعليم والبحث العلمي والتنمية، فإنه يمكن تحقيق زيادة أكبر في الإنتاجية، وبذلك يحقق الاقتصاد العالمي نموا في المخرجات، أي الناتج خلال زمن طويل جدا.

بيد أن هناك اقتصاديين يلاحظون أن الأرض محدودة، ولذلك فهم يرفضون هذا النوع من التفاؤل، وبالأحرى يلحون على أننا قد أصبحنا نستخدم الخدمات المتاحة من الطبيعة بالحد الأقصى أو بأكثر مما يمكن للفضاء الحيوي أن يتحمله في المدى الطويل. وهم يجادلون بالقول إنه ينبغي اعتماد سياسات فورية لوقف النمو في تقريرها الصادر عام 1987، فإن التنمية المستدامة هي التي تلبي حاجات الحاضر بدون أن ينتقص ذلك من قدرة الأجيال المقبلة على تلبية حاجاتها الذاتية. وللوصول إلى هذه النتيجة يجب على كل جيل أن يورث خلفه ثروة لا تقل بمعدلها الفردي عما ورثه هذا الجيل نفسه من الجيل الذي سبقه.

وتُعرف الثروة بأنها قيمة القاعدة الإنتاجية الشاملة لاقتصاد ما. وهذه الثروة تشمل رأس المال البشري ورأس المال الطبيعي والمعرفة والمهارات والمؤسسات. وينبغي أن ينظر إلى التنمية الاقتصادية باعتبارها معدل النمو في ثروة الفرد، وليس معدل النمو في حصته من الناتج المحلي الإجمالي.

وهناك فرق كبير بين الناتج المحلي الإجمالي والثروة. فالناتج المحلي الإجمالي يضم عناصر كالمشتريات من السلع والخدمات، ولكنه (أي الناتج) لا يسجل الاهتلاك في أرصدة رأس المال (كتدهور الأنظمة البيئية). ولهذا يمكن لنصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي أن يزيد حتى الانخفاض لأن النمو السكاني والاستثمار في رأس المال المنتج وتحسين المؤسسات لم تعوض عن التدهور في رأس المال الطبيعي. إضافة إلى ذلك، فإن البلدان التي شهدت نموا سكانيا أعلى خسرت أيضا بوتيرة أسرع في نصيب الفرد من الثروة.

وتأتي أخبار أفضل من اقتصاديات الصين ومعظم البلدان الأعضاء في منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD)، حيث نمت هذه الاقتصاديات سواء بمقياس نصيب الفرد في الناتج المحلي الإجمالي أو بمقياس حصة الفرد في الثروة.

وقد تمكنت هذه البلدان من تجاوز عتبة التعويض عن تدهور رأس المال الطبيعي، وذلك بتحقيقها تراكما في أنماط أخرى من الأرصدة الرأسمالية وتحسينا في أحوال المؤسسات. وهكذا يبدو أن العالم الغني قد حظي خلال العقود الثلاثة الماضية، بتنمية مستدامة، في حين لم تكن التنمية مستدامة في العالم الفقير (باستثناء الصين).

بيد أنه يمكن للمرء أن يحاجّ بأن التقديرات أعلاه في حركة الثروة قد تكون منحازة، فبين الأنماط المتعددة للرأسمال الطبيعي الواردة في أرقام البنك الدولي التي لا يظهر التناقص في قيمها، نجد خصوصا الماء العذب والتربة وثروات المحيط السمكية والأراضي الرطبة باعتبارها تزود النظام البيئي بخدمات، شأنها في ذلك شأن الفضاء الحيوي الذي يقوم بدور بلوعة للهباء، ولثنائي أكسيد الأزوت (النتروجين) وثنائي أكسيد الكبريت.

إضافة إلى ما تقدم فإن الأسعار التي قدرها البنك الدولي لاحتساب قيمة الأرصدة الطبيعية في قائمته بنيت على افتراضات تتجاهل القدرة المحدودة للنظم الطبيعية على تعويض ما يصيبها من أضرار. فإذا استُبعدت مجموعتا الانحياز، أمكننا أن نكتشف بأن النمو في الثروة في الصين ولدى أمم العالم الغنية كان سلبيا أيضا من حيث القيمة.

الثروة الكلية هي قياس لصحة الحالة الاقتصادية أفضل من الناتج المحلي الإجمالي (في اليمين)

استخدام الخدمات المتوافرة من الطبيعة. وهؤلاء الاقتصاديون، من أمثال «H. E. دالي» وأولئك المذكورين في مقالته، محقّون في مساءلتهم الرأي المتفائل حول إهمال الحدود التي تفرضها الطبيعة؛ لكنه يمكن أن يوجه النقد إلى هؤلاء أنفسهم في عدد من المجالات. إنهم على وجه الخصوص لا يذكرون كيف الوصول إلى استنتاج سياسات محددة، كما أنهم لا يقترحون طريقة مفهومة يمكن بها تقييم التكاليف والمنافع البشرية من التوقف عن أي زيادة إضافية في استخدام الموارد.

وهناك قلة من الاقتصاديين (وأنا واحد منهم) تحاول أن تتجنب مجموعتين من عناصر الضعف، وذلك بالتدقيق في مفهوم التنمية المستدامة - باعتباره طريقا لا يتراجع فيه الرفاه عبر الأجيال وإنما يمكن أن يتحسن مع مرور الزمن.

ومثلما حددت لجنة «بروندتلاند» الشهيرة في عندما ينخفض نصيبه في الثروة. ويمكن للناتج المحلي الإجمالي أن يكون مضلِّلا على نحو يدعو إلى اليأس عندما يستخدم مؤشرا للرفاه البشري.

كيف كان أداء الأمم عندما راح يقاس بمعايير التنمية المستدامة؟ تشير الأرقام التي نشرها البنك الدولي مؤخرا حول التناقص في قيم العديد من الموارد الطبيعية (النفط والغاز الطبيعي والمعادن والفضاء الجوي كبلّوعة لغاز ثنائي أكسيد الفحم والغابات كمصادر للأخشاب) إلى أن نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي ونصيبه من الثروة قد انخفضا في جنوب الصحراء الإفريقية خلال العقود الثلاثة الماضية، وذلك كما يتضح من *الشكل البياني أعلاه*.

وفي المقابل، نجد في القارة الهندية أنه بينما زاد نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي قد انخفض نصيبه في الثروة. وقد حدث هذا

إن الرأي السائد في علم الاقتصاد المعاصر متفائل من دون أي أساس لهذا التفاؤل. وعلى البشرية أن تصمم مؤسسات وسياسات تمكن الاقتصاديات من بلوغ النمو المستدام. ولهذا الغرض يتوافر للاقتصاديين اليوم إطار للعمل (تقديرات الثروة كتلك التي سبق ذكرها) لاقتراح سياسات تكون أكثر دقة بكثير من مجرد الدعوة إلى أن على البشرية أن تقيم في الحال اقتصاد حالة مستقرة[1].

المؤلف

Partha Dasgupta

السير داسكوبتا، أستاذ كرسي رامزي للاقتصاد في جامعة كمبردج البريطانية.

(٭) Counterpoint

(1) steady-state



تخضع المداخن الطويلة للنظام cap-and-trade الذي يحفز الحدّ من انبعاثات ثنائي أكسيد الكبريت. ومثل هذه السياسات تساعد على تحقيق الاستدامة.

باب الإنصاف، عما إذا كان تشغيل قوة العمل تشغيلا كاملا أمرا قابلا للتحقيق في اقتصاد تحرك النموَّ فيه التجارةُ الحرةُ والممارسات الاقتصاديةُ في المناطق الخارجة عن متناول الجباية الضريبية وهجرة العمال الميسرة وتطبيق التقانات الموفرة في العمالة؟ وتزداد أهمية الإصلاح والصيانة في اقتصاد مستدام. ويمكن أن يؤدي ترجيح كثافة العمل على الإنتاج والحماية النسبية من النشاط خارج المناطق المقننة اقتصاديا (المناطق غير الخاضعة للنظم الضريبية) إلى توفير المزيد من فرص العمل.

ومع ذلك قد يكون مطلوبا التفكير بصورة أعمق في كيفية تحقيق الناس دخولهم. فإذا كانت الأتمتة وكان إخراج الوظائف بعيدا عن المناطق المقننة الخاضعة للضرائب يؤديان إلى إنتاج إجمالي أكبر يتراكم ويضاف إلى رأس المال (أي أن تحقق الأعمال وأصحابها ربحا من الإنتاج) بما يؤدي إلى تقليل ما يكسبه العمال، وعندها قد يصبح مبدأ توزيع الدخول من خلال الوظائف أقل قبولا. وقد يصلح بديلا عمليا عن ذلك توسيع الملكية في قطاع الأعمال، بحيث يحقق الأفراد دخلا من خلال مشاركتهم في الأعمال بدلا من تحقيقهم ذلك من خلال العمل بدوام كامل.

السعادة: شكلت بديهية النهم[1] التي تقول بأن الناس يزدادون سعادة كلما ازداد استهلاكهم، إحدى القوى المحركة للنمو غير المستدام. لكن أبحاث الاقتصاديين التجريبيين وعلماء النفس قادت إلى نقض هذه البديهية.

وجاء الدليل الداعم لذلك في بحث أنجزه في منتصف التسعينات <A. R.> إيستيرلين> [وهو حاليا في جامعة ساوث كاليفورنيا]، إذ يشير إلى أن النمو لا يعمل دائما على زيادة السعادة (أو المنفعة أو الرفاه). وبدلا من ذلك، فإن العلاقة المتبادلة بين الدخل المطلق والسعادة لا تتسع إلا إلى عتبة محددة من الاكتفاء؛ لأنه لا يؤثر بعدها في السعادة المقدَّرة ذاتيا إلا الوضع النسبي.

ولا يمكن للنمو أن يزيد الدخل النسبي لدى الناس جميعا، فأولئك الذين ازداد دخلهم النسبي نتيجة تحقيق مزيد من النمو، يمكن أن يقابلهم أناس آخرون تناقص دخلهم النسبي؛ فإذا ازداد الدخل لدى أفراد المجتمع جميعا بصورة متناسبة، فلن يرتفع عندئذ الدخل النسبي لأي منهم عن دخل الآخرين النسبي ولن يشعر أحد منهم أنه أكثر سعادة. وعند ذلك يصبح النمو بمثابة سباق تسلح يلغي أحد الطرفين فيه مكاسب الآخر.

ولربما بلغت البلدان الثرية «**حدّ العبث**» futility limit، أي النقطة التي لا يزيد عندها تواصل النمو من السعادة لدى الإنسان. وهذا لا يعني أن المجتمع الاستهلاكي قد مات، وإنما يعني أن زيادة الاستهلاك بأبعد من عتبة الاكتفاء، سواء غذيت هذه الزيادة بالإعلانات المزاحمة أو بنزعة التملك الفطرية، فإن تلك الزيادة هي بكل بساطة، زيادة لا تزيد الناس سعادة وفقا لتقديرهم الذاتي.

وتتحقق بالصدفة متلازمة مؤداها أنه في المجتمعات التي بلغت حد الكفاية، ستكون الاستدامة أقل تكلفة من حيث السعادة المفوتة[2]. وهكذا قد تصبح الاستحالة السياسية لتحقيق اقتصاد مستدام أقل استحالة مما كان يبدو.

وإذا لم نقم بإجراء التعديلات المطلوبة لتحقيق اقتصاد مستدام، فإن العالم إما أنه سيصبح أكثر تلوثا أو أشد افتقارا إلى الموارد السمكية وموارد الطاقة **الأحفورية** fossil وسائر الموارد الطبيعية. ولفترة، يمكن أن تبقى هذه الخسائر مخفية بقناع حسابات الناتج المحلي الإجمالي التي تقيس استهلاك الموارد بأنه دخل. غير أن الكارثة ستقع في نهاية المطاف وسيكون تجنبها صعبًا، ولهذا فكلما أسرعنا بالتحرك كان ذلك أفضل لنا. ■

(١) axiom of insatiability
(٢) forgone hapiness

المؤلف

Herman E. Daly

أستاذ في مدرسة السياسة العامة بجامعة ميرلاند. عمل ما بين عام 1988 وعام 1994 اقتصاديا متقدما في إدارة البيئة بالبنك الدولي، حيث ساعد على صياغة منهج بوضع معالم سياسية للتنمية المستدامة، وهو مؤسس ومحرر مشارك لمجلة الاقتصاديات البيئية. وقد ألف عددا من الكتب.

مراجع للاستزادة

The Green National Product: A Proposed Index of Sustainable Economic Welfare. Clifford W. Cobb and John B. Cobb, Jr. University Press of America, 1994.

Will Raising the Incomes of All Increase the Happiness of All? Richard Easterlin in *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol. 27, pages 35–47; 1995.

Human Well-Being and the Natural Environment. Partha Dasgupta. Oxford University Press, 2001.

Ecological Economics: Principles and Applications. Herman E. Daly and Joshua Farley. Island Press, 2004.

كيف يجب علينا تحديد الأولويات؟(*)

لدى العالَم ما يكفيه من مشكلات ومما يطرح من أفكار جيدة لحلها. ولكن ما المشكلة التي يجب التصدي لها أولا؟ فما إن يقترب القادة من بعض الحلول، حتى تقف أسواق جديدة حائلا دون سياساتهم.

<W. W. كيس>

كيف يجب أن تتقدم البشرية في العقدين القادمين؟ إلى أي التحديات علينا أن ننصرف، وبأي ترتيب، وبكم نضحي عند الضرورة من راحتنا وحريتنا؟ أسئلة يمكن أن تتلقى ردودا متمايزة بقدر ما يوجد من مفكرين على هذه الأرض. طبعا، لن تكون الردود بالدرجة نفسها من الحكمة، ولكن ليس من بينها ما هو نهائي. لأنها في النهاية أسئلة حول قيم الشخص الأخلاقية وأفضلياته.

يمكن أن نلجأ إلى الخبراء لمعرفة أي المشكلات هي الأكثر تهديدا، وأي الحلول واعدة أكثر من غيرها، وأيهما أقل تكلفة محتملة، المباشرة أم الانتظار. ويمكن للعلماء أن يستحثونا (تماما مثلما فعل مؤلفو مقالات هذا العدد الخاص من **العلوم**) على تركيز جهودنا على إنهاء الفقر المدقع وتحصين «النواحي الساخنة» في التنوع الحيوي، وتحسين البنى التحتية للزراعة ورفع مردود الطاقة المستعملة وكبح جماح الأمراض الوبائية؛ إلا أن الخبراء لا يستطيعون أن يحددوا مباشرة وجهة سير البشرية.

فالتاريخ نفسه يتجلى عند تكامل عدد لا يحصى من الخيارات التي يعمل على معالجتها أساسا نوعان من الأجهزة الاجتماعية غير المتقنة، هما الحكومات واقتصاد السوق. غير أن هذين الجهازين ليسا على درجة واحدة من الحذق في تحديد الأولويات العقلانية ثم الالتزام بها.

فبوساطة الدورات الانتخابية، أصبحت الديموقراطيات، وحتى أكثر الأجهزة السياسية فعالية فيها، مهيأة أفضل تهيئة لكي تجد في غضون عقد أو أقل حلولا تكون هي الأمثل. كما استَخدمت الحملات الانتخابية شعار «التوجه الجديد» كمرادف للتحسين. ولكن نادرا ما استمرت هذه الشعارات، فما يقرره مشرِّع أو رئيس، يأتي خلَفه فيلغيه بعنجهية. ويمكن للشكوك العلمية التي تجعل القضايا البيئية معقدة جدا، أن تتسبب في إيقاف نظام تفحصات وموازنات بالمجادلة والتلكؤ في اتخاذ قرار. وهكذا يمكن لهيكل الحكومات نفسه أن يُضعف من ردِّها على مشكلات متعددة التشكيل، مترابطة من النوع الذي لا بد أن يواجهه العالم في النصف الثاني من هذا القرن.

ولطالما حاجَّ الاقتصاديون بأنه عند مواجهة مشكلات عديدة اجتماعية وبيئية، يمكن للأجهزة الاقتصادية التي توجه تنافسية الإنسان وغريزة التملك عنده نحو الخير العام، أن تحقق تقدما أعظم بخطوات أسرع وتكلفة أقل من طرائق «الأمر والتحكم» المتبعة من قبل الحكومات. واليوم وبعد فترة من التشكك، يتبنى العديد من الناظمين[1]، والمؤسسات الدولية والخيرية هذه الفكرة. كما أقيمت أسواق لترويج إبطاء احترار الكرة الأرضية بمفعول الدفيئة وحماية أمكنة تجميع المياه وإيقاف الصيد الجائر وحماية الأنواع المهددة بالانقراض.

ويقول العارفون إنه يمكن لهذه الأسواق، إذا ما أُحسن تصميمها وأُحكم ضبطها بعناية، أن تصبح بفعاليتها قادرة على الصمود ذاتيا ومؤهلة لمعالجة المخاطر ومواضع الريبة وكأنها بورصة (سوق أوراق مالية). وتعمل النظم التجارية على تسهيل القبول بهامش الأسعار الواسع الذي يتمسك به عامة الناس، إذ تجعلهم يعبِّرون عن أفضلياتهم عن طريق التداول الشائع: العملة. ولكن هذه الطريقة لها من يشكك بها حتى من قبل اقتصاديي البيئة. فهم يشيرون إلى أن التفصيلات الكامنة في الصفتين الرئيسيتين «حسنة التصميم» و«مضبوطة بعناية» هي في واقع الأمر تفصيلات خبيثة.

الاختبار الحمضي(**)

يأتي الكثير من الحماس الحالي للتنظيم القائم على السوق[2] من نتائج المشروع الرائد الذي انطلق في الولايات المتحدة عام 1990. فقد عدل الكونگرس في عام 2005 «مرسوم الهواء النظيف» لينشئ سوقا للرخص[3] التي يجب أن تحصل عليها معامل توليد الطاقة التي تطلق مداخنها أحد المسببات الرئيسية للمطر الحمضي، وهو ثنائي أكسيد الكبريت SO_2. وهكذا بدأت وكالة حماية البيئة مزادات سنوية لبيع رخص التلويث[4]. فتجاوز القانون الفدرالي العدد الكلي من الأطنان لما يمكن أن تبيعه وكالة حماية البيئة من رخص إطلاق ثنائي أكسيد الكبريت ثم خفضت السقف دوريا. فعمل قانون العرض والطلب على تحديد السعر التجاري لرخصة إطلاق طن واحد.

كان منظمو المشروع يأملون أن تعمل أسوأ الملوثات على رفع السعر إلى الحد المحتمل نسبيا لكي تنخفض انبعاثاتها، وهكذا يمكنهم عندئذ بيع ما زاد عندهم من رخص لتستفيد منها المصانع والمحطات الأنظف، التي قد تؤدي أية تحسينات إضافية لها في هذا الصدد إلى جعل تكاليفها لا تطاق. وعلى هذا النحو سيوجه السوق الاستثمارات إلى الجانب الذي يمكن أن يكون الأفضل للبيئة.

كانت هذه الخطة، تبعا لوكالة حماية البيئة، حافزا قويا إلى الاستثمار في ثنائي

(*) HOW SHOULD WE SET PRIORITIES?
(**) The Acid Test
(۱) ج: ناظم regulator
(۲) market-based regulation
(۳) permits
(٤) polution permits

أكسيد الكبريت. ولما اتجه السقف المفروض على تراخيص ثنائي أكسيد الكبريت نحو الانخفاض، انخفضت معه أيضا حموضة أمطار الولايات الشمالية الشرقية.

ويتوقع الاقتصاديون أعضاء «جمعية موارد للمستقبل» (RFF)، وهي مؤسسة اقتصادية بيئية لا حزبية مركزها في واشنطن .D.C، أن البرنامج سيكلف بليون دولار في السنة حتى عام 2010، أي أقل من 30 إلى 50% مما لو أن وكالة حماية البيئة قررت ببساطة أن على كل مصنع أو محطة أن يطبق معايير انبعاثات معينة. وعلى نطاق واسع، عُرف برنامج الولايات المتحدة لثنائي أكسيد الكربون بأنه نصر مؤكد لاقتصادات الأسواق الحرة واستُخدم كنموذج لنظم أخرى من النوع "cap-and-trade" (ضع حدا أعلى – و – تاجر)[1]، أو ما يسمى سوق الكربون.

ولكن نجاح البرنامج كان أبعد ما يكون عن الاكتمال. فالضرر الذي كان البرنامج معدا لمعالجته – وهو حموضة البحيرات والجداول التي تفسد منظوماتهما البيئية[2] – باقية على حالها تقريبا. فقد خلص تحليل عام 2001 الذي قام به <.Ch .T> دريسكول <[من جامعة سيراكوس] وتسعة علماء آخرون، إلى أن تخفيض الانبعاثات إلى الحدود التي أقرها الكونگرس في جدول التخفيضات هي أضعف بكثير من أن تحقق استرداد المنظومة البيئية سلامتها في غضون الـ25 إلى الـ50 سنة القادمة. فقد أفادت الوكالة EPA نفسها بأن ثلثي تلك المياه السطحية أو ثلاثة أرباعها في أعلى وسط الغرب وفي أريروداك والسهل الأبالاشي التي كانت حمضية في عام 1990 ظلت حمضية في عام 2002. وخلال هذه المدة، خلصت الوكالة أيضا إلى أن مستوى المياه الحمضية في نيوإنگلند وفي منطقة بلو ردج لم ينخفض انخفاضا ملموسا.

في الحقيقة، إن في تصميم سوق رخص ثنائي أكسيد الكبريت[3] صدعا، لأن اقتصاديي الوكالة RFF اكتفوا بأن الكونگرس وحده يمكن أن يضبط سقوف الانبعاثات فلم يستعينوا بخبراء الوكالة EPA، لذلك لم يستجب النظام لدراسات العلماء الجديدة التي تبين أن ثنائي أكسيد الكبريت يؤذي الإنسان أكثر مما كان

ليس بالسهل أن نوازن بدقة بين العديد من الرغبات البشرية المتعارضة. وليس جميع الخيارات واضحا، وتحسُّن الوضع بالنسبة إلى مشكلة قد يفاقم أوضاع المشكلات الأخرى.

يظن، وأن المياه الحمضية تسترد سلامتها ببطء أكثر مما كان متوقعا. فالدرس الذي نتعلمه من ذلك أنه لا بد لمراقبي السوق من سلطة، كرقابة الاحتياطي الفدرالي على التمويل، لكي تضغط سقف الرخص بقدر يزيل الشكوك العلمية.

تغير في المناخ(*)

لكن للأسف، عندما وافقت دول العالم الغنية (ما عدا الولايات المتحدة وأستراليا)، عام 1997 على معاهدة كيوتو للمناخ، لم يُطبق كثير من الدول هذا الدرس، فهي لم تخفض من انبعاث غاز الدفيئة وفق «سوق الكربون» الذي بدأ عمله كاملا في الاتحاد الأوروبي في عام 2005. ولقد تزايدت مخاطر الاحترار العالمي تزايدا واضحا، ولكن سقوف الانبعاثات التي جرى التفاوض بشأنها في عام 1997 هي تلك التي ستُلزم الدول عام 2012 – هذا إن لم تبدأ تعقيدات أخرى في سوق الكربون بتعطيل المعاهدة.

وعلى غرار تعديل «مرسوم الهواء النظيف»، ابتكرت معاهدة كيوتو سلعة جديدة من لا شيء. وهي في هذه الحالة رُخص لإطلاق غاز الدفيئة بقابلية احترار يولدها طن متري من ثنائي أكسيد الكربون. وقد وزعت الحكومات هذه الرخص ضمن حدودها على مولدات الكهرباء والمحركات والصناعات المعدنية والصناعات الأخرى الثقيلة. ولكن بعض الأقطار، مثل روسيا، حصلت على كمية كبيرة من الرخص تتعدى حاجتها، لأن

(*) A Change in Climate

(1) إنه مقاربة للتحكم في كميات كبيرة من الانبعاثات من مجموعة من المصادر بتكاليف أدنى مما لو نُظِّم كل مصدر على حدة.

(2) ecosystems أو النظم الإيكولوجية.

(3) the market for SO_2 permits

اقتصاداتها تقلصت منذ عام 1990. (على أن هذه الرخص، اعتبرت مجرد كلام فارغ وهي غير مقبولة سياسيا في أقطار عديدة.) إن عرض هذه الرخص في عموم أوروبا أقل من الطلب، وبحلول عام 2008 سيشتد هذا التباين بين العرض والطلب.

ومنذ أن قرع جرس الافتتاح في الشهر 2005/1 تسابقت الدول ورجال الأعمال على رخص الانبعاثات وجعلت الحجم التجاري يعلو إلى ارتفاع مليوني طن يوميا، فازدادت أسعار الرخص من نحو 9 دولارات للطن الواحد في البدء إلى 35 دولارا في الشهر 2005/7، أي أعلى بكثير مما توقعه الاقتصاديون. وفي بعض المصالح، تجاوزت حاليا تكلفة الرخص لإنتاج كيلوواط ساعي من طاقة الفحم المشتعل تكلفة الفحم المستخدم.

لقد شجع ارتفاع الأسعار مشتري الرخص على استثمار جانب مستحدث في سوق الكربون: إنه التجارة «بمقابلات الكربون»[1] التي تخفض التلوث بما سمي مشاريع تطوير نظيفة استُحدثت في دول نامية، حيث يمكن للمصانع فيها استعمال عدد من مقابلات الكربون كبدائل للرخص أقل تكلفة.

وفي مؤتمر الشهر 2005/2 بأمستردام، وصف بعض الرأسماليين المغامرين مجموعة مشاريع مقابلات مبتكرة في مصانعهم. ففي البرازيل قام أحدهم بتغطية مكبّين للفضلات والقاذورات، وبحرق الميثان methane المنبعث منهما ليولد الكهرباء. وهكذا أمكنه تقليص انبعاثات غاز الدفيئة بما يعادل 000 670 طن من ثنائي أكسيد الكربون سنويا. وفي الصين أقام أحدهم شبكة من المراوح لينتج طاقة نظيفة خفضت ما يعادل 000 51 طن من ثنائي أكسيد الكبريت. وتقيم هندوراس ثلاثة مشاريع كهرمائية صغيرة لتقوم ببيع مقابلات الكربون وكذلك الكهرباء. ومن حيث المبدأ، تسمح هذه المشاريع للاقتصادات الفقيرة بأن تنمو بسرعة وبطريقة نظيفة، بينما تساعد الأوروبيين على مواجهة التزاماتهم وفق اتفاقية كيوتو بتكاليف مالية أقل.

ولكن فذلكات البيروقراطية أوقعت العملية في أزمات. فمنذ بداية الشهر 2005/7 قدّم المستثمرون رسميا نحو 170 مشروعا لتصادق عليها هيئة عينتها الأمم المتحدة لهذا الغرض، كما بدؤوا بتحضير مئة مشروع آخر؛ ولكن الهيئة رخصت 12 مشروعا فقط لتدخل سوق الكربون. ولم يُصدِر بعد أي مشروع منها تخفيضا في الانبعاثات مصادقا عليه ـ أي مقابلات الكربون القابلة للتقدير ـ لأن الأمم المتحدة أخفقت في تحديد منظمة مالية لإدارة هذه المقابلات.

وفي لقاء أمستردام، حذر كثير من مديري المشاريع من أن النظام سينهار فورا ما لم تتحرك الأمم المتحدة بسرعة. وقد راح <G.M. مونروي> [من الشركة MGM الدولية وكان لديها مشروع واحد مصادق عليه و10 مشاريع أخرى على قائمة الانتظار] يندب قائلا: «لو عاد <فرانز كافكا>[2] من قبره لأمكنه أن يكتب تذييلا [لروايته التي ينظر فيها من ثقب الباب] بمجرد النظر إلى إجراءات تلك الهيئة الدولية.

وقد يكون على العديد من الدول أن

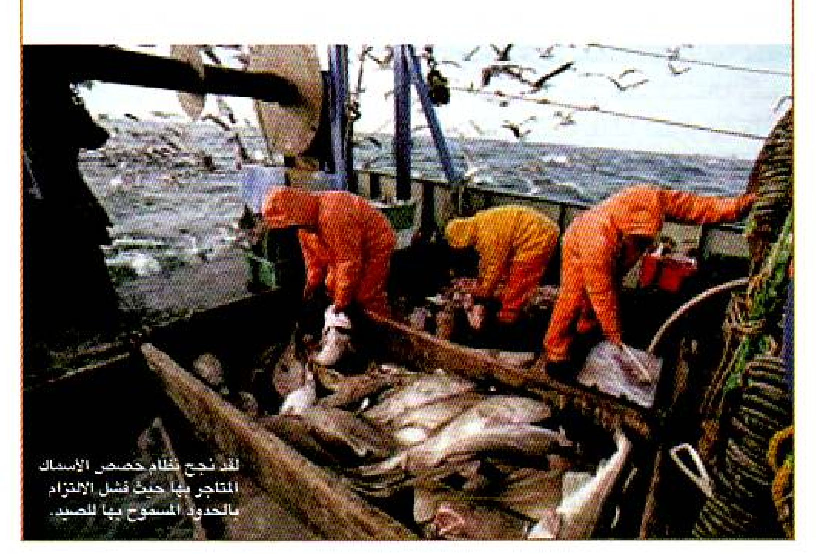
مفترق طرق أمام الأولويات العالمية(*)

المشكلة:

- إن العديد من المشكلات العالمية، البيئية والإنسانية، سيصبح ملحا جدا خلال الخمسين سنة القادمة. فهذه القضايا تتنافس منذ زمن على اجتذاب شيء من الانتباه والجهد والمال. والصراع على الموارد قد يشتد أكثر.
- كثيرا ما تابعت الحكومات والوكالات الدولية وغيرها من الهيئات الفاعلة جداول أعمال متنافرة أو قامت بتبديل جداول هيئات أخفقت تماما في إشراك القطاع الخاص. وعند حدوث ذلك ينحو التقدم بلا داعي إلى التباطؤ وإلى ارتفاع تكلفته.

الخطة:

- في جهود عديدة مبذولة حديثا للتعاطي مع مشكلات عالمية، اتفق خبراء من خلفيات مختلفة جدا على حلول مشتركة، قابلة للتنفيذ وتكاليفها فعّالة.
- لقد أنشئت حول العالم أسواق جديدة لتكوّن حوافز اقتصادية من أجل إبطاء تغير المناخ وتحسين إدارة شؤون المياه العذبة واستعادة عافية المسامك التي أنهكها الصيد المفرط والمحافظة على التنوع الحيوي. من الناحية المثالية، ستُسخَّر هذه الأسواق الاهتمام الذاتي البشري لخدمة الصالح العام. ولكن العديد من المقومات الضرورية للأسواق الفعلية مازال معدوما.



لقد نجح نظام حصص الأسماك المتاجر بها حيث فشل الالتزام بالحدود المسموح بها للصيد.

(*) Crossroads for Global Priorities
(1) carbon effects
(2) Franz Katha

الجميع مؤيدون؟(*)

إنه لحدث نادر ندرة وقوع الكواكب على استقامة واحدة: ذلك اللقاء الرائع الذي ضم اقتصاديين وسياسيين وعلماء وحتى نجوما من مغني الروك. وقد توصلوا جميعا بطرق مختلفة إلى أولويات طويلة الأجل توافقت إلى حد بعيد. كانت أهداف التنمية للألفية Millennium المصادق عليها من قبل الأمم المتحدة في عام 2000 (والتي يعرضها <J. D. ساش> في *الصفحة 16*) خاطرة مشتركة. ولكن هذه الأهداف ضخمت مشكلات أكثر مما وجدت حلولا، وشملت مجالا واسعا من الطموح من دون أن تقيم وزنا للتكاليف النسبية. وهكذا لم توح تلك الأهداف بأي خطة مباشرة للعمل. ولكن أهداف الأمم المتحدة تضع فعلا معالم يمكن في ضوئها مقارنة الخطط، خلافا للإيعاز المألوف «حسبك أن تعمل شيئا ما.»[1]

وفي لقاء مثير للجدل عُقد بين اقتصاديين في الشهر 2004/5 في كوبنهاكن وسمي إجماع كوبنهاكن[2]، برزت مجموعة من الاقتراحات الواقعية. وقد نظم هذا اللقاء <لومبورك> مؤلف المقالة بعنوان بيئي متشكك[3] وهو حاليا مدير معهد التقييم البيئي في كوبنهاكن، وقد دعت إلى هذا الاجتماع هيئة مكونة من ثمانية اقتصاديين مشهورين ـ منهم ثلاثة حازوا جائزة نوبل ـ ليُحكِّموا 38 اقتراحا مطروحا لمعالجة 10 تحديات عالمية. وقد استدعي عشرة مقترحين وعشرون متحديا، كانوا أيضا اقتصاديين سبق لهم أن أشرفوا على دراسات حول المداخلات كما قيموا تكاليفها المحتملة وفوائدها الممكنة. وعندئذ طلب لومبورك إلى الهيئة أن تستخدم تحليل التكاليف والعائدات[4] لكي ترتب ما يجب اتخاذه لتحديد كيف يمكن للعالَم أن يصرف على أحسن وجه خمسين بليون دولار أكثر من المساعدة التي سبق أن قدمها.

وقد نظم الاقتصاديون لائحة ولكنهم رفضوا أن ينظموها على أساس نسب التكاليف والعائدات فحسب، وقللوا من أهمية تسلسل ترتيب ما ورد في هذه القائمة. وقد علق على ذلك <T. C. شلنك> [من جامعة مريلاند] قائلا «إن لدى <لومبورك> انطباعا مبالغا فيه عن الحدود التي يمكن أن يصل إليها تحليل التكاليف والعائدات. ففي الحقيقة إن كل شيء صنفناه على أنه وسط وجيد وجيد جدا هو في واقع الأمر جيد جدا.»

ربما كان من المدهش أن الاقتراحات التي أيدتها هيئة إجماع كوبنهاكن قد تضمنت حشدا من برامج مساعدات تقليدية. فقد خلص الاقتصاديون إلى أن الأمم الغنية يجب أن تزيد معونتها 12 بليون دولار تُصرف على توزيع كمية إضافية من الحديد وفيتامين A والأغذية الميكروية micronutrients الأخرى لتخفف من سوء التغذية. ويجب أن تُنفق 27 بليون دولار على استخدام الواقي المانع للحمل وعلى إجراءات أخرى لحماية 30 مليون إنسان في إفريقيا وآسيا من الإصابة بمرض نقص المناعة المكتسب (الإيدز). كما أن الاستثمارات في الاستراتيجيات التي ينصح بها برنامج مكافحة الملاريا يجب رفعها بمقدار 13 بليون دولار. وقد حصلت على تقدير عالٍ تقانات الحصول على المياه على نطاق ضيق وكذلك إمدادات الجمهور بالمياه التي يعرضها <P. پولاك> في *الصفحة 44*. كما حظيت بتقدير عالٍ الجهود المبذولة لمكافحة وفيات الجوع والطفولة والتي يدافع عنها <ساكس>. ولكن العمل الذي يقدم أعلى مردود بأقل تكلفة، والذي وافق على جميع الاقتصاديين، هو تحرير التجارة العالمية من المعونات والتعرفات الجمركية التي تقدم للمُزارع وللأعمال في البلدان الغنية على حساب المزارع والأعمال لدى الشعوب الفقيرة والتي ترفع التكاليف بالنسبة إلى المستهلكين في كل مكان.

لقد أجمعت حجج الاقتصاديين على خطط كانت تتطور بين السياسيين والمؤسسات الدولية. ففي عام 2004 أعلن الصندوق الدولي لمرض الإيدز والسل والملاريا عن هبات ترفع تمويله لمكافحة انتشار الملاريا إلى أكثر من بليون دولار منذ عام 2002. وفي الشهر 2005/6 صرح الرئيس <بوش> بأن الولايات المتحدة ستضيف على مدى خمس سنوات 1.2 بليون دولار للمساعدة التي تخصصها لجنوب الصحراء الإفريقية ضمن برنامج مكافحة الملاريا. وفي الشهر 2005/7، وعد قادة «مجموعة الثمانية»[5] بأن يسهموا بمبلغ إضافي قدره 1.5 بليون دولار في السنة للغرض نفسه.





لقد أسهمت الأحداث (*في الأعلى*) التي رافقت اجتماع «مجموعة الثمانية» (G-8) (*في الأسفل*) في التوصل إلى إجماع هذه المجموعة حول التخفيف من الفقر والملاريا والديون في أفريقيا.

وفي الشهر 2005/1، دعا مشروع الألفية الخاص بالأمم المتحدة[6] إلى مضاعفة المساعدة العالمية لكي تعيد الشعوب الفقيرة، وبخاصة الإفريقية منها، إلى السبيل الذي يقودها إلى أهداف الأمم المتحدة للعام 2015. وفي الشهر 2005/7 حضر مئات الآلاف من الناس الحفلات الموسيقية الحية الثمانية التي أقيمت في تسعة أقطار ليستمعوا إلى العازفين يحثون قادة العالم لكي يضاعفوا المساعدات العالمية للشعوب الفقيرة ويعفوا هذه الشعوب من ديونها ويخفضوا الإعانات المالية الحكومية والحواجز التجارية الأخرى على المنتجات الزراعية.

وبعد أسبوع تعهد قادة مجموعة الثمانية برفع المساعدة في موازناتها بحيث تزداد مساعدة التنمية الرسمية لأفريقيا إلى 50 بليون دولار في السنة قبل عام 2010، وذلك إضافة إلى مضاعفة المساعدة المقدمة في عام 2004. كما أن المجموعة وافقت على إلغاء جميع الديون لما يزيد على 24 قطرا من أفقر الأقطار التي كانت مدينة بها للبنك الدولي ولوكالتين ماليتين عالميتين أُخريين.

وقد قال <بوش>: «نود أن نعمل مع الاتحاد الأوروبي لتحرير أقطارنا من المعونات الزراعية التي نقدمها» ثم أضاف «آمل أن تنجز دورة الدوحة[7] [للمفاوضات الدولية التي بدأت بها منظمة التجارة العالمية عام 2002] هذا الهدف قبل عام 2010.» وسيكون لدى منظمة التجارة العالمية الوقت الكافي لتنصرف إلى هذه الأولوية في اللقاء التالي في الشهر 2005/12.

ولكن عندما سويت الخلافات حول حدود غازات الدفيئة بصعوبة، لم يمض الإجماع الجديد إلى أبعد من ذلك. وعندما أتى لاتخاذ إجراء بشأن احترار الأرض والقضايا البيئية الملحة الأخرى ـ كبرنامج إدارة بوش لتخفيض الانبعاثات التطوعي واتفاق الأمم المتحدة للعام 1992 حول التنوع الحيوي ـ لم يرق الإجماع إلى مستوى التحدي. وحديثا قام منظمون وبعض الفعاليات من مختلف أقطار العالم بمحاولة إعادة النظر في الاستعدادات الاقتصادية الحافزة بأمل أن تنجح قوى السوق حيث فشلت الإرادة السياسية.

(*) All In Favor?

(1) just do something

(2) Copenhagen Consensus

(3) انظر: «*رياضيات مضللة بشأن الرياضيات*»، **العلوم**، العددان 5/4 (2004)، ص 21.

(4) cost-benifit analysis

(5) Group of Eight (G-8)

(6) U.N.'s Millennium Project

(7) Doha Round

تتوجه، بدلا من التوسع في تقديم مقابلات الكربون، إلى جهة أخرى لتحقق أهداف كيوتو الخاصة بها. وتقدر الاستشارية Netsource أن الاتحاد الأوروبي واليابان وكندا ستنشر في الفضاء ما يقارب من 3.5 بليون طن أكثر مما تسمح به المعاهدة في الفترة ما بين عام 2008 و 2012. كما أن المحلل <K. تنگن> [من Point Carbon في النرويج] يفترض أن الفارق سيقارب الخمسة بلايين طن. كما تنبأ بأن مشروع التطوير النظيف ستنتج منه اعتمادات تجارية بما يكافئ بالتحديد 0.03 بليون طن حتى عام 2007 وأقل من بليون طن حتى عام 2012.

ومن دون استثمارات عظيمة في فعالية من النوع الذي يقترحه <A. B. لوڤينز> في *الصفحة 34*، فقد يصبح من غير الممكن مقاومة الضغط السياسي على هذه البلدان لكي تقبل وعودا روسيّة غير مضمونة التحقيق. وفي هذا الصدد، قال وزير الاقتصاد والتجارة والصناعة في اليابان <T. ساكاموتو> في مؤتمر الشهر 2005/2: «إنني شخصيا غير مقتنع بأن هذه الوسيلة ستكون مجدية حقا في معالجة تغير المناخ.»

ويقول الخبراء، إن المتاجرة في علاج الاحترار العالمي بعلاج ملموس، تقتضي أن تشارك الولايات المتحدة في سوق الكربون. وقد تزايد توقع ذلك. ففي الشهر 2004/12، حثت المفوضية الوطنية المسؤولة عن سياسة الطاقة مُشرِّعي الولايات المتحدة على تخويل هيئة منتدبة في سوق الكربون وذلك فيما يتعلق بالانبعاثات المسخنة للمناخ. وفي الشهر 2005/6 صوت مجلس شيوخ الولايات المتحدة على خطة مؤيدة من الحزبين كان قد اقترحها <J. ماكَين> [من أريزونا] و<J. ليبرمان> [من كونكتيكوت] وهي أن يقر مجلس الشيوخ الاقتراح السابق - فرُفض الاقتراح للمرة الثانية خلال سنتين. على أن مجلس الشيوخ مرر في أقل من شهر بعد ذلك قرارا غير ملزم لصالح وضع «حدود على أساس السوق» فيما يتعلق بالتلوث الذي يحدثه غاز الدفيئة.

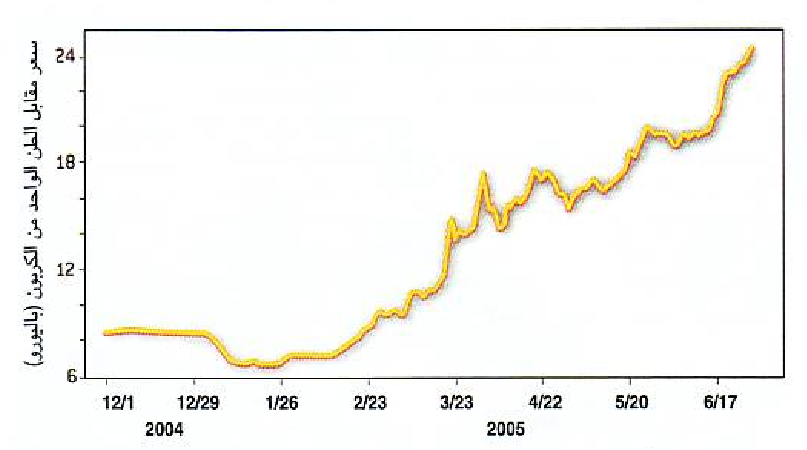
وفي غضون ذلك وعدت تسع ولايات شمالية غربية بأن تنشئ سوق كربون إقليمية. ولايزال المشاركون يصوغون قواعد التبادل فيما بينهم، ولكنهم لاحظوا فيما بعد أن الأنفع في ولاياتهم هو التوجه إلى الطريق الآخر وهو شراء التصاريح من نظام الاتحاد الأوروبي لتجارة الانبعاثات ومعتمدات مقابلات الكربون من مشاريع التطوير النظيف.

على أن العديد من الخبراء يحذرون من أن سوق الكربون هي تجربة على درجة كبيرة من الخطورة، إذ لايزال عليه أن يواجه أكثر اختباراته جدية. فالمحلل لدى الهيئة RFF الذي قام بعمل واسع في آسيا، ويدعى <R. G. بل>، يشير إلى اتهامات بوجود غش في تجارة الطاقة المكثفة قام بها <إنرون> Enron وإلى حالات كشف فيها عن شركات وهي تحاول الغش في نظم أخرى بسوق الكربون بنيوجرسي وكاليفورنيا والمملكة المتحدة. ويتساءل <بل>: «إذا حدث غش من هذا القبيل في نظام متطور جدا جرى الاستفتاء عليه من قبل صحافة حرة، فما هي عواقبه بالنسبة إلى أقطار أقل تطورا بكثير في مجال حقوق الملكية والمؤسسات الشرعية وذلك لحماية أسواقها من الفساد مع محدودية المراقبة الجماهيرية لهذه الأسواق؟». ثم يتابع «إن استخدام أسواق للتحكم في التلوث يفرض متطلبات عالية على بنى تحتية ضعيفة وعادات سيئة، بل إن الأخطار أعظم حين يكون ما يُطرح في هذه الأسواق هو في الأساس غير عادي ويصعب اعتباره هواء ملوثا».

عفاريت في التفاصيل[*]

يلفت <بل> نظرنا إلى أن السوق الرائجة تتطلب من المقومات أكثر بكثير من أن تكون مكونة من مجرد بائعين ومشترين ومنتجات تزويدها محدود. فالتنافس لا يزدهر إلا حين تكون المنتجات معايَرة ومحددة الأوصاف. ويتطلب كبار المستثمرين ثقة وسيولة: تبادل موثوق وأحجام تجارة مرتفعة بحيث يستطيع الوكلاء أن يبيعوا عندما يشاؤون. ولكن العديد من الأسواق المستحدثة للخدمات البيئية لاتزال مقتصرة على سلعة واحدة أو أخرى. فكما أوحت تجربة التجارة بثنائي أكسيد الكبريت، فإن نظاما كهذا يمكن أن يعمل بسلاسة ومع ذلك يفشل في تحقيق هدفه البيئي النهائي.

وثمة شيء آخر، لما كانت الأسواق قد أنشئت لكي تحمي إمدادات المياه وتحافظ على مواطن الأحياء وتدير شؤون صيد الأسماك، فكل واحدة من هذه تحقق خطوة على خط التعلم. فحتى الأداء المخيب للأمل يمكن أن يكون أفضل من بديله. فمرسوم عام 1972 للماء النظيف على سبيل المثال، اعترف بقيمة الأراضي الرطبة في تصفية الموارد المائية وفي التخفيف من حدة الجفاف والفيضانات، كما تحمي الأنواع القيّمة. لذلك طالب القانون البنائين استعادة أو تهيئة



أدى التهافت على رُخَص الانبعاثات إلى ارتفاع أسعارها فجأة وبسرعة. فحتى الشهر 2005/7 ازدادت تكلفة الرخصة لإنتاج كيلوواط ساعي من طاقة الفحم المشتعل إلى أكثر من سعر الفحم.

(*) Devils in the Details

مزرعة المستقبل(*)

ربما كان من الممكن للمنظومة البيئية إذا ما تركت حرة منذ البدء أن تنتج نصف دخل مزرعة، هذا إذا انطلقت أسواق لمختلف أنواع الاعتمادات البيئية كما هو مأمول. ويمكن أن يكون للمزارع في المستقبل ملفات متعددة لخدمات المنظومة البيئية لعرضها على قطاع واسع من الزبائن.

غابة أخشاب مستدامة مرخصة

غابة أشجار مستدامة مع ما يُجنى من أخشابها وهي الآن أحد المنتجات العديدة التي رخصت بأنها سليمة بيئيا، وتباع أخشابها في الأسواق المتخصصة بأسعار تشجيعية.



كهرباء متجددة

تولد مزارع المراوح كهرباء غير ملوثة، وهذا ما يفرض أسعارا تشجيعية في أسواق الطاقة. ويمكن للتربينات turbines أيضا أن توفر اعتمادات ضرائبية، وهذا ما يعين رأس المال والتكاليف.



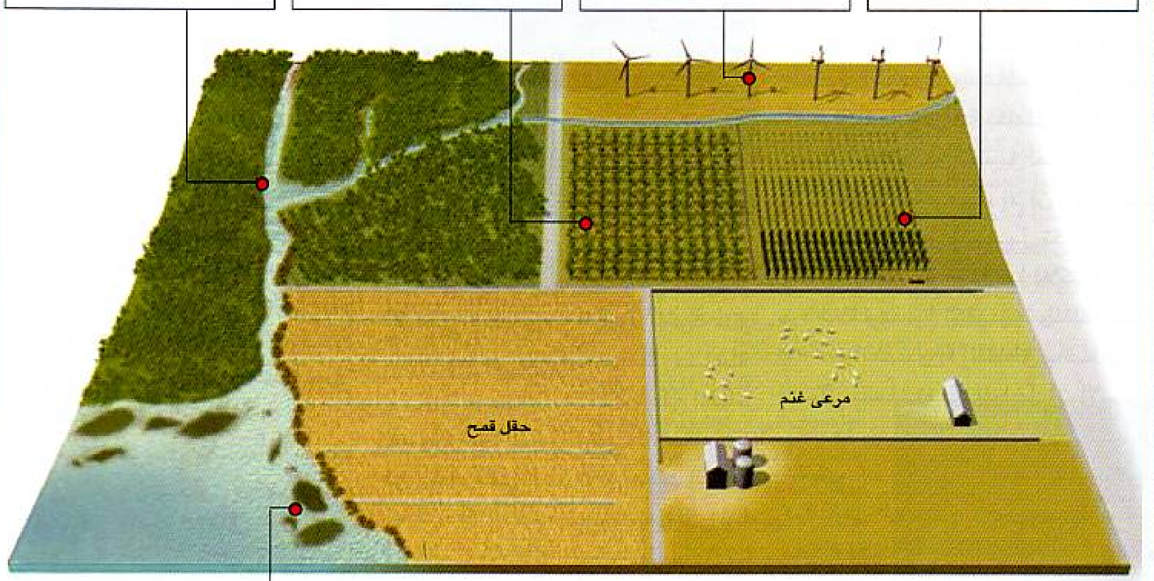
اعتمادات مقابلات الكربون

عندما يزرع أصحاب الأراضي غابات جديدة ويعدون بعدم قطع الأشجار وحرقها يمكنهم عندها الحصول على اعتمادات مقابلات الكربون التي ستشتريها منهم الصناعات التي تلتزم بحدود انبعاثات غاز الدفيئة.

اعتمادات التنوع الحيوي

تقوم منظمات الحفظ conservation باستئجار حقوق التنمية من أصحاب الغابات العذراء، وغيرها من المواطن التي تعيش فيها أنواع مهددة بالأوبئة أو التي تتعرض فيها المنظومات البيئية لاضمحلال سريع.

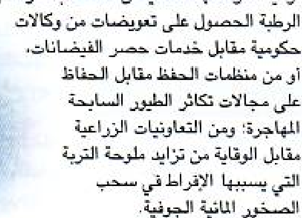


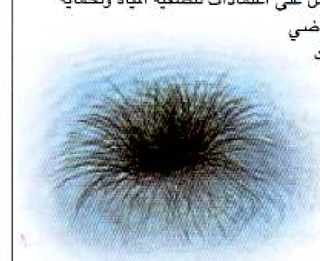


السلعة	النسبة المئوية من دخل المزرعة	الزبون
اعتمادات التنوع الحيوي	5	ائتمان حفظ
اعتمادات مقابلات الكربون	10	صناعة الفولاذ
كهرباء متجددة	15	سوق الطاقة
أخشاب مرخصة مستدامة	20	سوق تخصصية
اعتمادات المياه	20	سوق مياه المدن
قمح	15	سوق عالمية
صوف	15	سوق عالمية

اعتمادات المياه

إن الإدارة المتأنية للمياه وللأراضي الرطبة ذات قيمة اقتصادية لعدة أسباب. فالسلطات المدينية المشرفة على المياه تحصل على اعتمادات لتصفية المياه ولحماية نوعية أحواضها. كما يمكن لأصحاب الأراضي الرطبة الحصول على تعويضات من وكالات حكومية مقابل خدمات حصر الفيضانات، أو من منظمات الحفظ مقابل الحفاظ على مجالات تكاثر الطيور السابحة المهاجرة؛ ومن التعاونيات الزراعية مقابل الوقاية من تزايد ملوحة التربة التي يسببها الإفراط في سحب الصخور المائية الجوفية.





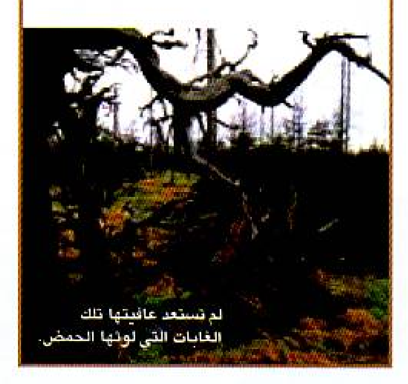
(*) A Farm of The Future

مساحات من الأراضي بقدر ما تضرر منها. ومع ذلك، وتبعا لوزارة الداخلية في الولايات المتحدة، ظلت هناك سبخات ومستنقعات تختفي، وأكثر من مليون أكر acre قد تضررت نتيجة للتنمية التي أجريت في الفترة بين عام 1985 وعام 1995.

وهكذا اتخذت الحكومة منذ ما يقرب من عقد خطوة جديدة، فقد سمحت للمكلفين بالتنمية بشراء الاعتمادات من البنوك الخاصة باستعادة الأراضي الرطبة بدلا من قيامهم بالعمل بأنفسهم. وهكذا فجأة أصبح إنقاذ الأراضي الرطبة مناسبة للعمل بدلا من أن يكون عبئا. وقد اشترى بنك من هذه البنوك 206 أكرات من المستنقعات واستعادها في ميدولاند بنيوجرسي مقابل 000 65 دولار للأكر الواحد، عندئذ بيعت الاعتمادات للقائمين بالتنمية (الذين احتاجوا إلى هذه الاعتمادات ليحصلوا على الموافقة على البناء) بسعر 000 150 دولار للأكر الواحد، وربحوا بذلك 17.5 مليون دولار. وقد ازدهرت بنوك تخفيف الخطورة، واستعادت الخمسمئة بنك أو نحوها العاملة حاليا في الولايات المتحدة، ما يقرب من 23000 أكر، وباعت ما يقرب من 300 مليون دولار اعتمادات تبعا لسوق النظام البيئي. وفي عام 2003 شرعت مصلحة الأسماك والحياة البرية ببرنامج مشابه للمساعدة على حماية الأنواع المهددة بالخطر.

وفي المكسيك، بدأت مصلحة التشجير بدفع منحة سنوية لأصحاب الأراضي تراوح ما بين 11 و 15 دولارا للأكر الواحد لكي لا يقطعوا أشجار أراضيهم ولكي لا يحولونها إلى مراع فيما لو كانت في مناطق مهمة للموارد المائية أو للمحافظة على التنوع الحيوي أو للنظام البيئي الجبلي. وتدعم سواتل (أقمار صنعية) المراقبة والمفتشون المتطوعون عقود الخمس سنوات التي حمت 000 770 أكر خلال الشهر 2004/12 وستكلف هذه العقود الحكومة 150 مليون دولار أو أكثر لكونها تُحيل التمويل بالتدريج إلى زبائن المياه. وعلى هذا النحو تُشجع الحفاظ على جزء صغير من 000 620 أكر تتعرى من أشجارها كل عام. وعلى حد قول أحد مديري هذا البرنامج، من الصعب

لقيت سوق انبعاثات ثنائي أكسيد الكبريت الكثير من الترحيب وكأنها انتصار، لكن معظم البحيرات والجداول التي كانت معنية بالإنقاذ ظل حمضيا كما كان.



لم تستعد عافيتها تلك الغابات التي لونها الحمض.

توسيع البرنامج، لأن 15 في المئة من الأراضي الحرجية في المكسيك مملوكة ملكية خاصة وما بقي تقريبا يُحافظ على مشاعيته.

إن تنظيم صيد السمك على أساس السوق، يمثل بصورة واضحة النظام «ربح في ربح». ففي عام 1995 أدخلت الولايات المتحدة نظام المتاجرة بالحصص لكي تنظم في ألاسكا صيد سمك الهلبوت. وقد انخفض هذا الصيد لدرجة أن موسم الصيد اقتصر على 48 ساعة في السنة. فبإعطاء الصيادين حقا خاصا باصطياد عدد معين من السمك، وبتزويدهم بطريقة بسيطة لينسحبوا من المهنة (ببيع الحصة المخصصة لهم)، أمكن للنظام أن يخفف من تخمة السوق - ما أدى إلى ارتفاع سعر سمك الهلبوت ودخل الصيادين - في حين سمح لأسراب السمك أن تتعافى. وفي هذه السنة (2005) أصبح موسم صيد الهلبوت على مدار 258 يوما. وأكبر توسع لنظام المتاجرة بحسب الحصص كان في نيوزيلندا، فهو حاليا يحمي 93 نوعا.

حتى إن كانت التجربة المحدودة توحي بأن النظام سيسير سيرا حسنا في بعض المجالات أو بالنسبة إلى بعض خدمات المنظومة البيئية، إلاّ أنه سيفعل القليل للمجالات الأخرى. فأحد أقسام تقدير الأمم المتحدة للمنظومة البيئية لعام 2000[1] أطلق في الشهر 2005/5 تحذيرات (بأن نجاح نتائج النظام «ربح في ربح» كان من الوجهة السياسية صحيحا في أفضل الأحوال وساذجا في أسوأ الأحوال،) فمع أن أمة بكاملها أو البشرية جمعاء تستفيد من تضييق حرية الوصول إلى الموارد الطبيعية، إلا أن على فئات محلية قليلة أن تتحمل تكاليف ذلك. فالتجارة لن تتيح دائما للأكثرية أن ترد للأقلية ما تكلفته. ولذلك يقول <T .R. واتسون> [الناطق باسم البنك الدولي بشأن تغير المناخ]: إن الأسواق وحدها ربما لن تؤدي الغرض، كما أن الحكومات وحدها لن تؤديه بكل تأكيد. فأفضل الخيارات، هو الذي سيتيح بحكمة للاثنين أن يعملا معا. ■

(١) U.N.'s Millennium Ecosystem Assessment

المؤلف

W. Wayt Gibbs

كاتب مخضرم.

مراجع للاستزادة

The New Economy of Nature. gretchen C. Daily and katherine Elison. Island Press, 2002.

Trading Cases. James Boyed et al. in Environmental Science and Technology, vol. 37, No. 11, pages 216A; June 1,2003.

Global Crises, Global Solutions. Edited by Bjon Lomborg. Cambridge University Press, 2004.

Liquid Assets. Katherine Ellison and Amanda Hawn in Conservation in Practice, Vol. 6, No. 2; April–June 2005.

استبصارات

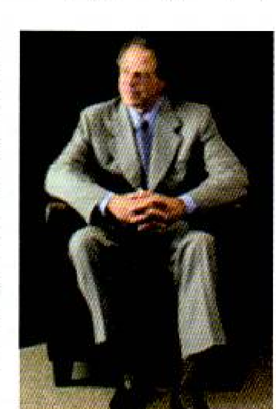
مشروع قانون الخلايا الجذعية(*)

في خريف عام 2005، أقنع المستثمر المصرفي العقاري <R. كلاين> سكان كاليفورنيا بالتصويت لصالح أبحاث الخلايا الجذعية. وكان ذلك مجرد خطوة متواضعة مقارنة بجعل وكالة الأبحاث الناشئة جاهزة للانطلاق.

عندما اجتمع مجلس الإشراف على وكالة أبحاث الخلايا الجذعية لولاية كاليفورنيا في أواخر الشهر 2005/5، كان علماء كوريا الجنوبية قد وصفوا للتو اختراقا علميا[1] فيما يسمى **الاستنساخ العلاجي** therapeutic cloning. ولقد حث <A. D. كسلر> [عميد كلية طب جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو] زملاءه أعضاء المجلس على تقديم توضيح بهذا الشأن، ووجه السؤال التالي: هكذا إذًا، أنحن نقوم باستنساخ البشر؟ فأجاب عالم الأعصاب <Z. W. هول> [الرئيس المؤقت لوكالة الولاية] «لا، إننا فقط ننتزع الخلايا في مرحلة من التنامي مبكرة جدا جدا، ونستنسخها.»

ومع وضع أبحاث الخلايا الجذعية تحت المجهر، يبذل معهد كاليفورنيا للطب التجديدي (التخليقي) California Institute of Regenerative Medicine (CIRM) جهدا استثنائيا لتوضيح نواياه. ويمول المعهدُ، الذي حلم به المستثمر المصرفي العقاري <R. كلاين> ووافق على إنشائه الناخبون كمشروع لقانون يحمل الرقم 71 في الشهر 2005/11، أبحاثَ الخلايا الجذعية الجنينية التي لن تمولها الحكومة الفدرالية.

لقد صاغ <كلاين> معظم المبادرة الكاليفورنية للأبحاث والمعالجات الخاصة بالخلايا الجذعية، ومنح من أمواله الشخصية 2.6 مليون دولار أمريكي، وعمل كأكبر مروِّج لها. وفي الشهر 2005/12، اختير ليكون رئيسا مسؤولا عن إنشاء الوكالة تجاريا ومشرفا على صندوق الأبحاث المشترك البالغ ثلاثة بلايين دولار.



ومع أن 59 في المئة من الناخبين في كاليفورنيا صوَّتوا لصالح هذه الفكرة، فإن إنشاء الوكالة فعليا أثبت أنه مثير للنزاع. فبعد أشهر من اعتزام <كلاين> إعلان الهبات الأولى للمعهد CIRM، وجد نفسه يصارع لتطوير البنية التحتية، ويحارب تحديات تشريعية وقانونية. فقد طالب أحد المؤيدين السابقين الأقوياء، <D. أورتيز> [وهي سيناتورة الولاية]، بقواعد وسياسات أشد صرامة تجاه تضارب المصالح ضمانا لاستفادة سكان الولاية الدائمين من حق الامتياز وعوائد الاختراع وأرباح المهنة وتوفير العلاج. كما ارتاب أنصار الحكومة المنفتحة والمشككين بالتِّقانة الحيوية بصحة الفقرات الشرطية، التي قصد بها أصلا حماية صنع القرار من بيروقراطية حكومة الولاية، وكذلك السماح للوكالة بأن تعمل تجاريا كمؤسسة ناشئة مقاولة.

ويشير <كلاين> بإحباط إلى الاجتماعات العامة التسعة والعشرين، التي أشرف عليها في اثني عشر أسبوعا. ومع ذلك، فهو يشكو من أن المعهد CIRM يواجه النقد بأنه لا يعمل منفتحا بما فيه الكفاية. ويقول <كلاين>: «هناك قلق منطقي بشأن تحقيق معايير رفيعة، وكان علينا أن نثبت ذاتنا.» ولكنه يصر قائلا: «لقد وفينا بما وعدنا به.»

ولا يعتبر <كلاين>، البالغ من العمر 59 عاما، غريبا عن السيرورات العامة. وبالنظر إلى أنه مطور لقطاع العقارات ومصرفي، فقد ساعد على تأسيس وكالة ولاياتية تقدم قروض سكن بفائدة تقل عما يقدمه السوق، ونظم آلية التمويل بالسندات لهيئات خاصة وحكومية. أما شغفه بالخلايا الجذعية، فقد تأصل قبل خمس سنوات في أثناء جمع تبرعات لصالح المؤسسة الدولية لأبحاث داء السكري الشبابي. فقد تحدث <J. بلوستون> [من جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو] عن اغتراس خلايا جزر لانگرهانس البنكرياسية المأخوذة من أعضاء مانحة، فافتتن <كلاين> بهذا الإمكان. وأدرك <كلاين> فجأة أن إجراءات التأسيس جاهزة من حيث المرضى والمستشفيات، وجل ما يفتقر إليه هذا النظام هو توفير الخلايا الجذعية الجنينية التي تستطيع تجديد إنتاج الأنسولين من دون استثارة أي استجابة مناعية. لقد تبرع بسخاء في تلك الليلة التي تحدث فيها <بلوستون>، وكان ذلك قبل عام واحد فقط من تشخيص ابنه كمريض بداء السكري الشبابي.

وسرعان ما عمدت المؤسسة إلى تعبئة <كلاين> في جماعة الضغط لاستئناف تمويل برنامج داء السكري الشبابي التابع للمعاهد الوطنية للصحة، الذي حدد تاريخ نفاذه في عام 2002. لقد ساعد على جمع

<روبرت كلاين>: يضطلع بالمبادرة(**)

- **استكمل 30 مسودة و200 تنقيح فرعي كي يجعل مشروع القانون 71 لا يحتمل إلا تفسيرا واحدا أمام العقبات المالية وأمام تدخل المشرعين في أمر لا يعنيهم.**
- **ويرى فيما يتعلق بمستقبل العمل ببرنامج أبحاث الخلايا الجذعية، الذي ترعاه الولاية: «إذا ما أخفق معهد كاليفورنيا، فإن المعاهد الأخرى ستتعرض للشلل.»**

(*) A PROPOSITION FOR STEM CELLS

(**) Robert Klein: Taking Initiative

(1) لقد اتضح في أواخر العام الفائت ومطلع هذا العام (2006)، أن هذا «الاختراق» كان نتيجة أبحاث مزورة كليا، وعمدت مجلة «ساينس» *Science* إلى سحب مقالتي <وو-سك هوانگ> لعامي 2004 و 2005، اللتين أعلن فيهما عن هذا «الاختراق» المنتحل. كما اعترف رئيس جامعة سيؤول الوطنية أن <هوانگ> لم يعمل قط على الخلايا الجذعية الجنينية البشرية المستنسخة، واعتذر للعالم كله على هذا الانتحال، وأعلن إحالة <هوانگ> إلى القضاء. واعتُبر هذا التزوير من قبل كثيرين فضيحة القرن، لأنها جمعت النواحي العلمية والمالية والسياسية في آن واحد. كما تبين في مطلع الشهر 2006/2 أن <هوانگ> ومختبره تمتعا بمنح مالية من جامعة سيؤول الوطنية، بلغ مجموعها ما يقارب 38 مليون دولار. دفع <هوانگ> قسما منها كرشوة لسياسيين نافذين. كما نُزعت في الشهر نفسه (2006/2) الصفة الأكاديمية من ثمانية علماء كوريين جنوبيين، عملوا على الخلايا الجذعية «البشرية». (التحرير)

300 مليون دولار لصالح شكلي داء السكري: الشبابي والكهولي. ولكنه سرعان ما أدرك أن التشريع هو أسلوب رديء لدعم الأبحاث؛ وهذه وجهة نظر ترسخت لديه في عام 2003 عندما رُفض مشروع قانون قدمته ‹أوريتز› لتمويل دراسات الخلايا الجذعية الجنينية في كاليفورنيا.

وفي رأي ‹كلاين›، فإنه يجب النظر إلى الأبحاث الطبية كجزء من البنية التحتية، تماما كالسد أو الجسر. فهو يقول: «عليك أن تتوقف عن النظر إلى الأبحاث كأعمال مكلفة. كما يجب أن ينص على ذلك في دستور الولاية، وأن تقر سندات ولاياتية خاصة بالأبحاث، وتعتمد هذه السندات كأصول رأسمالية[1].» وستحمي هذه المقاربة مجالات الدراسة المثيرة للجدل، وتسمح للولاية بتقديم بيانات بالنفقات مرة كل بضعة عقود بدلا من كل سنة. وبهذه الفلسفة، اقترح ‹كلاين› طريقة يطالب المواطنون وفقا لها بتمويل طويل الأمد. ولقد عمل تسعة أشهر متواصلة مع علماء ومدافعين عن المرضى وفريق من المحامين البارزين إلى أن توصل الفريق أخيرا إلى صياغة مشروع القانون 71[2]، تمهيدا للاقتراع عليه في عام 2004.

الانتصار في 2005/11: صورة لـ‹كلاين› ومؤيديه، يشاركون في احتفال صاخب بعد أن وافق الناخبون على مشروع القانون 71.

ويقول ‹كلاين› إنه إضافة إلى تحدي طرائق التمويل التقليدية، يستطيع المعهد CIRM أن ينظم عمل العلماء بتخفيضه الأعباء القانونية والإدارية، وبتسريعه سيرورة مراجعة المنح. فمثلا، يمكن للمعهد CIRM أن يفاوض على مستوى الولاية الإجازات الرئيسية المتعلقة بالملكية الفكرية، بحيث تنتقل المادة البيولوجية بين المؤسسات البحثية. ويرغب ‹كلاين› في الموافقة على المنح في خلال ثلاثة أشهر بدلا من الأشهر التسعة التي تطلبها معاهد الصحة الوطنية. ويصرح قائلا: «أعتقد أن لدينا تفويضا من الجمهور لتحسين الأسلوب الحالي.» فإلى جانب الإنفاق على أعمال لا يحتمل أن تفوز بأموال فدرالية، يمكن للمعهد CIRM أن يكون أكثر مغامرة من معاهد الصحة الوطنية، وفقا لرأي ‹هول›. ويذكر ‹هول› ـ كأسلوب على غراره يتم ذلك ـ سباق السَّلْسَلَة[3]، الذي تحدّت فيه الشركة الخاصة سيليرا مشروع الجينوم البشري الذي رعته معاهد الصحة الوطنية.

ويأمل العلماء خارج كاليفورنيا نجاح المعهد CIRM، ولكنهم غير متأكدين بالقدر نفسه من ضرورة تلك التحسينات، ويخشون أن لا يعمل جيدا الموقف «نستطيع فعله»[4] في الأبحاث العلمية كما يعمل في المقاولات. ويحذر ‹S. أوركين› [من مستشفى بوسطن للأطفال] من أن تخصيص أموال ضخمة لمسألة بيولوجية لا يضمن التوصل إلى نتائج مجزية. وسيرأس ‹أوركين› مجموعة عمل المنح التابعة للمعهد CIRM. ويلاحظ ‹أوركين› أيضا أن المعايير الفدرالية للجودة وتقويم الأبحاث وتضارب المصالح والأخلاقيات قد ازدادت صرامة لدى معاهد الصحة الوطنية مع مر السنين. ويتخوف ‹أوركين› من أن خليطا من خطوط الاهتداء يتطور باستمرار مع تزايد عدد الولايات المنهمكة في هذا العمل. فقد خصصت ولاية نيوجيرسي 11.5 مليون دولار لمعهد الخلايا الجذعية الخاص بها، إضافة إلى 380 مليون دولار أخرى قيد الاستثمار. كما أن تسع ولايات أخرى تأخذ حاليا في الاعتبار توظيف جهود تمويلها الخاصة، أو وضع مخططاتها التنظيمية. وعلى نحو مستقل، مكنت التبرعات الخاصة عدة مؤسسات من إنشاء مراكزها البحثية.

وقد يسهل هذا الانتشار لمراكز أبحاث الخلايا الجذعية الضغط على إدارة ‹بوش› لتجعل موقفها من الخلايا الجذعية أقل صرامة. ويرى ‹M .G. كيلر› [مدير معهد الخلايا الجذعية في كلية طب ماونت سيناي] أن القواعد المستقلة للتمويل الخاص والولاياتي والفدرالي تربك كلا من العلماء والجمهور. ففي حين أن كثيرا من الولايات تشعر بالرضا لتمويلها أبحاث الخلايا الجذعية الجنينية، ثمة ست ولايات حرّمت أبحاث الاستنساخ. ويتساءل ‹كيلر›: «كيف يمكن أن يكون أخلاقيا إجراء أبحاث بأحد أنماط التمويل، ولا يكون كذلك في حال النمط الآخر.»

لقد تبنى مجلس المساءلة العلمية والطبية في المعهد CIRM الإشراف الوطني المقترح وخطوط الاهتداء الأخلاقية[5] التي وضعتها الأكاديمية الوطنية للعلوم، بيد أن هذه القواعد يجب أن تعرض على الجمهور لمدة 270 يوما لمراجعتها. وبينما ينتظر بيولوجيو الخلايا الجذعية في كاليفورنيا بفارغ الصبر المعايير الخاصة بالموافقة وبقواعد الحصول على الخلايا البيضية[6] وبالسيرورات الأخرى، فإن بعض العلماء في أمكنة أخرى من البلاد يود أن يطرح مقاربة أخرى أكثر حذرا وروية. كما أن ‹كيلر› قلق بشأن الارتياب الأخلاقي للجمهور، ومما يرى فيه من توقعات ذات مستوى عال وغير واقعية من جانب المتحمسين لمعالجات الخلايا الجذعية وللوظائف الجديدة ولمدخرات الرعاية الصحية المتأتية عن هذه المعالجات.

وثمة آخرون يفكرون أن الجمهور، وبخاصة أولئك المدافعين عن المرضى، قد يكون لهم نفوذ كبير على المعهد CIRM. إنهم يشكلون ما لا يقل عن ربع عدد أعضاء مجلس مراجعة المنح وثلث عدد أعضاء لجنة الإشراف. وتتساءل ‹M .K. شو› [المديرة المشاركة لمركز ستانفورد للأخلاقيات الحيوية الطبية[7]] عن التأثير على الأمد الطويل في الثقافة العلمية حينما يجري تمويل الأبحاث عبر تصويت شعبي. وتشير إلى النزاعات الحزبية التي يغذيها المرضى والتي تدور حول أبحاث التوحّد (الانطواء على الذات) autism، والتي تهاجم فيها مجموعات الآباء نتائج الدراسة التي لا يرغبون فيها ويجمعون الأموال لاختبار نظريات المعالجة الخاصة بهم. وتحذر ‹شو› قائلة: «إن الجمهور لا يعمل على تحديد المجالات المرضية التي تحظى بالاهتمام فحسب؛ بل يعمل أيضا على تحديد استراتيجيات الأبحاث.»

ويعتقد ‹كلاين› أن لديه معهدا سيكون بمقدوره أن يتقدم على غيره بمسؤولية. ويقول: «ثمة كم هائل من الخبرة والمعرفة لدى مجلسنا.» ويشعر ‹كلاين› بوضوح أن جميع العيون تراقبه بعناية في أثناء إبحار المعهد عبر المياه الضحلة العلمية والمالية والسياسية والأخلاقية لأبحاث الخلايا الجذعية الجنينية. ويتنبأ ‹كلاين› أنه إذا ما استطاعت كاليفورنيا تحقيق اختراق رئيسي، فإن الأمة ستغير موقفها فيما يتعلق بهذا المجال من العلوم وإلى الأبد. ■

‹S. ليرمان›

(١) capital assets أصول رأسمالية.

(٢) انظر: «مناورة كاليفورنيا»، العلوم، العدد 12 (2005)، ص 48.

(٣) the sequencing race

(٤) "can-do" attitude

(٥) ethical guidelines

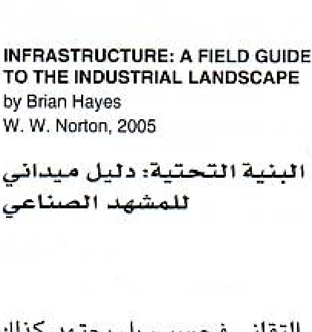
(٦) oocyte

(٧) biomedical ethics

عروض ومراجعات كتب

كل ما هو من صنع الإنسان(*)

جولة في البنى التي تشكل بيئتنا اليومية.



INFRASTRUCTURE: A FIELD GUIDE TO THE INDUSTRIAL LANDSCAPE
by Brian Hayes
W. W. Norton, 2005

البنية التحتية: دليل ميداني للمشهد الصناعي

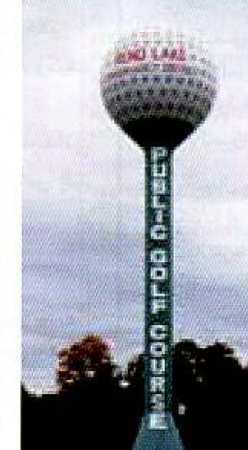
إن كتيبات الإرشاد الميداني إلى الطبيعة كُثر، وهي قيِّمة لتعيين اسم طائر غرد أو صقر ينقضُّ في الجوار. ولكن كاتبا علميا محنكا يجوب حاليا الولايات المتحدة ليصور ويؤلف نوعا مختلفا كليا من تلك الكتيبات، يمثل البيئة التي أوجدها الإنسان: محطات الكهرباء الفرعية، رافعات الشحن، أبراج الهواتف الخلوية، خزانات مياه المزارع، وأبراج آبار النفط، على طرق السفر السريعة وطرق الأرياف؛ كلها بنى لا حس فيها ولا صوت ولا حركة؛ بنى حاجتها إلى التعريف كأي طائر.

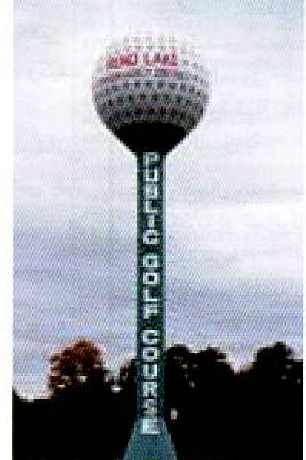
وفي دليله الأصيل ذي القراءة السهلة والممتعة، بعنوان: «*البنية التحتية: دليل ميداني للمشهد الصناعي*»، يلائم <B. هيز> شكل الدليل «لكل شيء لا يخص الطبيعة،» كما يقول. ويضيف: «ربما تكون هناك أشياء تحدث على سطح مصنع ما، لا تقل أهمية عما يحدث في **ظُلّة غابة** forest canopy.» إن الدليل لا يسعى إلى تعريف مناظر عامة من المشهد التقاني فحسب، بل يجتهد كذلك لشرح كيف تتناغم هذه المناظر بعضها مع بعض، بدءا من المواد الخام (كالفحم والماء والغذاء)، وانتقالا عبر شبكات مترابطة (كالطرق وشبكات الطاقة الكهربائية)، وانتهاء بما يسميه **النهاية الأدنى** nether end للاقتصاد الصناعي: مصرف النفايات. ويكتب <هيز> عن هذا المشهد موضحا: «عليك أيضا أن تعرف أسماء عناصره، ودور كل منها.» ويضيف: «كل هذا من حولك.. فإذا كان عليك أن تتوقف في الطريق السريع استحسانا لإطلالة جبل ما...، عليك أيضا أن تفكر في التوقف لتتأمل منجما أو مصنعا للطاقة مثلا.»

لقد صرف <هيز> السنوات ما بين 1992 و 2004، حاملا آلة التصوير ليجمع ويصنف الكثير من المواد لهذا الدليل، يموِّله جزئيا برنامج المؤسسة سِلون المخصص لشرح التقانة للناس. وعلى اعتباره محبا للتقانة، فإن المؤلف يأمل تغييرَ بعض المواقف الشائعة تجاه المشهد الصناعي. فهو يكتب: «في الطبيعة نحبس أنفاسنا... وفي الصناعة نخبئ أنوفنا.» إنه يباشر هذه المهمة جزئيا عبر مئات الصور المأخوذة من الطائرات والسيارات وجوانب الشوارع الكثيرة المُسيجة، وجزئيا عبر الأقوال المتداولة التي يتغنى بها الناس الذين يثمنون تاريخ هذه العجائب وهندستها وجمالياتها، كصوامع الأعلاف ومصاعد الحبوب(1) وأنابيب النفط وأبراج تهوية نفق هولَّند.

فإذا لم يُقدَّر لنا قط مشاهدة هذه المناظر بأنفسنا ـ ذلك أن الزيارات غدت

(*) العنوان الأصلي: EVERYTHING THAT ISN'T NATURE
(1) grain elevators







كثيرا ما استلهمت خزانات المياه ـ وفقا للكاتب <B. هيز> ـ نواحي تزيينية. وتعرض هذه الأمثلة (*من اليمين إلى اليسار*) صورا لموقع روزماونت III، ورند ليك III ، وكافني S. C.

أكثر صعوبة منذ 2001/9/11، لأن السلطات قيدت وصول الناس إلى السدود والخزانات والمنشآت الأخرى - فإن <هيز> يقربنا منها، لنتفحص عن كثب عديدها. وكما يقول «تخفت الأصوات في فتحات الدخول، وتقوى الروائح، ولكن ليس إلى درجة لا تطاق.» وفي رواق مولِّد أحد المصانع الكهربائية «تكون الضوضاء كلها نغمات خفيضة، على شكل همهمات أو طنين أو أنات أو اهتزازات إيقاعية، تتحسسها أكثر مما تسمعها.» ويصف <هيز> باطن سد إسمنتي بقوله «إنه شبكة من الأروقة والأعمدة أكثر مما هو ممر سري لأحد الأهرامات المصرية.»

ويستكشف <هيز> على طول الطرقات الريفية جميع المشاهد التقانية، وبدايتها الجرارات، ثم يمزجها بتاريخ وتصاميم التقانة التي كانت سائدة في الماضي لاحتجاز الحيوانات، الأسلاك الشائكة. كانت الأسلاك تُشبك بأعمدة خشبية. ولكن <هيز> عثر على منطقة في ولاية كنساس، استدعى فقرُها بالأخشاب نحت أعمدة من أحجار كلسية، فبادر بالطبع إلى تصوير هذا المشهد النادر.

وتزين الكتابَ شروح أشياء عامة، إنما مغمورة، مثل: الكرات التي تتدلى من أسفل أسلاك النقل الكهربائية كي تمتص الاهتزازات التي تسببها الرياح، والثقوب الغريبة في صوامع الغلال التي تدعو طيور البوم كي تأكل الجرذان، وكذلك الكرات الغنية بالألوان على خطوط النقل الكهربائي التي تقطع الأنهار كي تنبه ملاحي القوارب العالية الصواري والطائرات المنخفضة الطيران. ويشرح <هيز> لماذا تدور حاوية الشاحنة، التي يلاحقها نظرك والتي تخلط الأسمنت، على نحو سريع باتجاه حركة عقارب الساعة كي تمزج الأسمنت، أو على نحو بطيء كي تحول دون ترسب الكداسات. ولماذا لا يشكل الدخان المنطلق من مدخنة مصنع السكر مصدرا للقلق: إنه مجرد بخار ماء.

ويقبل <هيز>، عن رضا، الاكتظاظ المحتوم للمصطلحات الاختصاصية. ويضيف مقارنات تجعل التعابير والسيرورات الجديدة قابلة للفهم. فيصف بأسلوب مبتكر تشغيل بوابات التدفق «وكأنها مكتب ذو غطاء لفاف،» و«كأن قطع الآجر شرائح من شريط طيني معصور بوساطة سلك رفيع على شاكلة قطاعة الجبن.» ويساعد <هيز> قرّاءه على تقدير مقاييس صور الأجسام كالآلات الضخمة المستعملة في عمليات التعدين - وذلك بإدخاله صورة جسم مقارن، كحافلة مدرسة أو سيارة سياحية. ويُختتم هذا الدليل الميداني بقائمة واسعة من المراجع للاستزادة، مبوبة تحت عنوان **للصغار** KIDS وهي خاصة بالقرّاء اليافعين، وتحت عنوان **للتعمق** GEEKS وتشمل مواد أكثر ملاءمة للقراء الشغوفين.

واليوم حسبما يشير <هيز> في خاتمة الكتاب، فإن المشاهد الصناعية غدت موقعا موحشا، يشغل الرافعة فيه عامل واحد أخذ مكان جماعات عمال تفريغ السفن وتحميلها؛ وحلت ماكينة عمليات التعدين بأبعادها الهائلة محل فريق عمال المناجم. لقد غدا تدريجيا هذا العالم ذو الأتمتة المتزايدة مألوفا، وحتى غير منظور، بالنسبة إلى معظمنا. ويقول <هيز>: «ربما يكون بيتك موصولا بمحطة فرعية للطاقة الكهربائية أو بمكتب تحويل للاتصالات الهاتفية أو بمصنع لترشيح المياه. ويتساءل <هيز>: «هل تعرف أين تقع هذه المنشآت، وكيف تبدو؟.. وماذا تشبه؟»

ربما، بعد قراءة هذا الدليل الميداني الاستثنائي، يبادر مزيد من الناس إلى معرفة ذلك. ■

المؤلفة

Anne Eisenberg

كاتبة علمية: حديثا، نشرت مجموعة مقالاتها بعنوان «ما التالي» What's Next، في موضع بارز من صحيفة «نيويورك تايمز»، وذلك ما بين عامي 2000 و 2005.

الفائزون بجائزة المنظمة الإسلامية للعلوم الطبية لعام 2005

اعتمد مجلس إدارة

مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

بتاريخ 2006/6/17،

توصية مجلس الجوائز

في المؤسسة بالفائزين بجائزة

المنظمة الإسلامية للعلوم الطبية

لعام 2005.

وهي على النحو التالي:

- في مجال «الفقه الطبي وتحقيق التراث وفق أصول فن التحقيق.»

فاز مناصفة بالجائزة كل من:

- أ.د. **سعد الدين مسعد هلالي**

(من جمهورية مصر العربية) عن أعماله المتضمنة في كتاب «الجانب الفقهي والتشريعي للاستنساخ - دراسة فقهية مقارنة» وكتاب «التأصيل الشرعي للخمر والمخدرات - دراسة فقهية مقارنة» وكتاب «قضية المسنين الكبار المعاصرة وأحكامهم الخاصة في الفقه الإسلامي - دراسة فقهية مقارنة.»

والدكتور هلالي هو أستاذ الفقه المقارن بكلية الشريعة والقانون بجامعة الأزهر في جمهورية مصر العربية.

- أ.د. **محمود أحمد مصري**

(من الجمهورية العربية السورية) عن أعماله المتضمنة في كتاب «حفظ صحة *الطفل في التراث الطبي العربي الإسلامي*»، وكتاب «*حفظ الصحة لأبي الحسن علي بن ربن الطبري - تحقيق ودراسة*.»

والدكتور مصري هو أمين سر الجمعية السورية لتاريخ العلوم، ومدير المكتبة الوقفية بحلب في الجمهورية العربية السورية.

- في مجال «الممارسة المبنية على التجربة المختبرية أو السريرية المحكومة بالضوابط العلمية المرعية».

أقر المجلس توصية مجلس الجوائز بحجب الجائزة في هذا المجال لعام 2005.

* ص.ب: 25263 الصفاة 13113 - دولة الكويت
فاكس: 2403891 (965) - هاتف: 2429780 (965)
البريد الإلكتروني: prize@kfas.org.kw

المجلد 22 ـ العددان 7/6
يونيو/ يوليو 2006

SCIENTIFIC
AMERICAN
June / July 2006

مجلة
العلوم
الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي



وهم الثقالة

- كيف تُجري الحيوانات عمليات مقايضة فيما بينها
- تطور أسماك إلى حيوانات رباعية الأرجل
- الترجمة الآلية مازالت هدفا بعيد المنال
- التغلب على قاتل مفاجئ: أمهات الدم
- أهداف جديدة محددة للأدوية
- أمل جديد لقهر الروتاڤيروس
- العلم وراء لعبة سودوكو
- منابع القدرة المنمنمة
- الراديو الاستعرافي

العددان 219/218 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي

مجلة العلوم

المجلد 22 ـ العددان 7/6
يونيو/يوليو 2006

Majallat AlOloom

المقالات

ترجمة أو مراجعة

«**مجلة العلوم**» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**»، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«**مجلة العلوم**» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«**ساينتفيك امريكان**» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «**ساينتفيك امريكان**» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول.



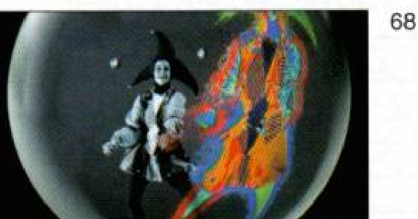














كيف تُجري الحيوانات عمليات مقايضة فيما بينها(*)

يشترك البشر والحيوانات الأخرى في تراث من الميول الاقتصادية، يشمل التعاون ورد الجميل إلى أهله ورفض أن تُبخس حقوقها في التبادلات.

<F.B.M. ده ڤال>

لن يكون مكتبي خاليا لفترة طويلة لو أنني تركته، كذلك الأمر بالنسبة إلى الممتلكات في الطبيعة، فملكيتها تتغير باستمرار. وتتراوح المساكن الممكنة من نقر تثقبها **نواقر الخشب** woodpeckers إلى أصداف فارغة على الشاطئ. وخير مثال نمطي لما يطلق عليه الاقتصاديون «**سلسلة الشواغر**» vacancy chain هو **سوق الإيواء** housing market بين حيوانات السرطان الناسك[1]. فكل سرطان يحمل بيته أينما ذهب لحماية بطنه الرخو، وعادة ما يكون هذا صَدَفَة مهجورة لحيوان من البطنقدميات (الحلازن). والمشكلة هي أن السرطان ينمو، في حين لا ينمو بيته، ومن ثم تكون هذه السرطانات في بحث دائم عن بيوت جديدة؛ وفي اللحظة التي تنتقل فيها إلى صدفة أوسع، تكون سرطانات أخرى بانتظار دورها لشغل الصدفة الخالية.

ونستطيع هنا أن نرى بسهولة تطبيق قانون العرض والطلب، ولما كان هذا القانون يطبق هنا على مستوى غير شخصي إلى حد ما، فإن قليلين هم الذين ينظرون إلى نموذج السرطان كنموذج ذي علاقة بالمعاملات الاقتصادية البشرية. وستكون تأثرات السرطان أكثر إثارة لو أن الحيوانات عقدت صفقاتها بأسلوب: «يُمكنك امتلاك منزلي لو أعطيتني في المقابل تلك السمكة الميتة.» والسرطانات الناسكة ليست من عاقدي الصفقات، وفي الحقيقة ليس لديها شعور بتأنيب الضمير عند طردها مالكي مسكن بالقوة. بيد أن حيوانات أخرى أكثر اجتماعية تتفاوض فيما بينها. ومقاربة هذه الحيوانات في تبادل الموارد والخدمات تساعدنا على فهم كيف نشأ السلوك الاقتصادي البشري، ولماذا؟

اقتصاديات جديدة(**)

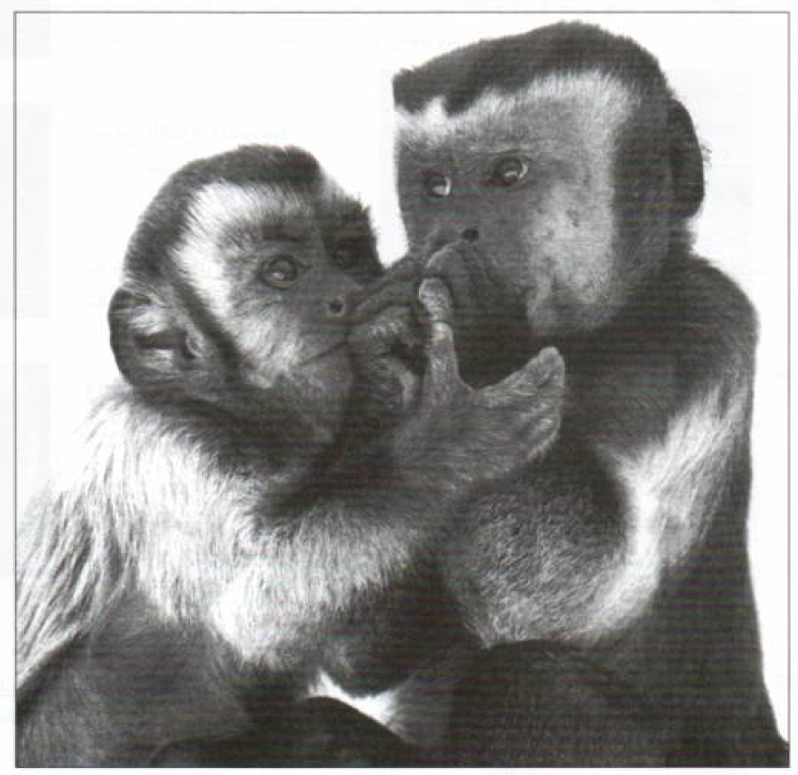
ينظر علم الاقتصاد المعهود إلى الناس على أنهم حريصون على تحقيق أقصى قدر من المنفعة لأنفسهم، تدفعهم إلى هذا أنانية مطلقة. وقد صاغها في القرن السابع عشر الفيلسوف الإنكليزي <T. هوبس> هكذا: «يُفترض أن كل فرد يبحث لنفسه فطريا ومن دون قصد عما هو نافع له؛ أما بحثه عما هو عادل فلا يأتي إلا ابتغاء السلامة وعرَضا.» وفي حدود هذا الرأي الذي مازال سائدا، لا يكون هذا السلوك إلا فكرة تالية أو «عقدا اجتماعيا» طرقه أسلافنا بسبب منافعه وليس بسبب انجذاب بعضهم لبعض. وبالنسبة إلى البيولوجي، يحيد هذا التاريخ الخيالي، إلى أبعد حد، عن الحقيقة. لقد انحدرنا من سلسلة طويلة من الرئيسات[2] التي تعيش في جماعات؛ وهذا يعني أننا زُودنا فطريا برغبة قوية لأن ننتظم في جماعة، وأن نجد شركاء نعيش ونعمل معهم. وهذا التفسير

(*) HOW ANIMALS DO BUSINESS

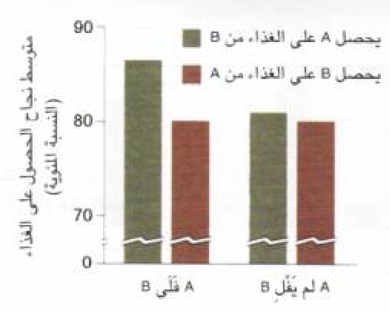
(**) The New Economics

(1) harmit crabs

(2) primates



تتقاسم قردة الكابوشين طعامها، كما تفعل الشمپانزات والأناسيّ. ولما كان هذا السلوك نادرا بين الرئيسات الأخرى، فيبدو أنه تطور مع ممارسة الصيد التعاوني (الجماعي)، وهي استراتيجية تستخدمها الأنواع الثلاثة. فبغير اقتسام غنيمة الصيد لن يكون هناك صيد جماعي. وهنا نرى صغيرا من الكابوشين يستجدي أمه الطعام بتدوير راحة يده، كالقدح، أمام الطعام الذي تأكله.



تتقاسم الشمبانزات الغذاء ـ هذه الأغصان المورقة، مثلا ـ كردٍ لخدمات من قبيل التفلية. وقد تم توضيح هذه التبادلية تجريبيا بتسجيل التفلية في صباح الأيام التي كان من المخطط إجراء اختبارات تقاسم الغذاء فيها. وكما يوضح الرسم البياني، قد زادت نسبة نجاح الشمبانزي (A) في الحصول على غذاء من الشمبانزي (B) بعد تفلية (A) له. لكن نجاح الشمبانزي (B) في الحصول على غذاء الشمبانزي (A) لم يتأثر بتفلية الشمبانزي (A). وبذلك، وعلى وجه التخصيص، فإن الفرد الذي يُفلي هو الذي يستفيد، وهذا يعني أن القاعدة هي مقايضة الغذاء بالتفلية.

التطوري لسبب تأثرنا على الوجه الذي نفعله، يكتسب حاليا نفوذا بفضل ظهور علم جديد، يعرف **بعلم الاقتصاد السلوكي** behavioral economics والذي يركز على السلوك البشري الفعلي أكثر منه على قوى السوق المجردة كدليل على فهم كيفية صنع القرار الاقتصادي. وقد حظي هذا العلم بتقدير خاص في عام 2002 وذلك باقتسام اثنين من مؤسسيه، وهما <D. كاينمان> و<L. V. سميث>، جائزة نوبل.

إن علم اقتصاد السلوك الحيواني مجال بِكر يقدم دعما للنظريات الجديدة بإيضاح أن الميول الاقتصادية الأساسية والاهتمامات البشرية ـ مثل التبادلية واقتسام المكافآت والتعاون ـ لا تقتصر على البشر. فمن المحتمل أنها نشأت في حيوانات أخرى للأسباب نفسها التي نشأت فينا، وذلك لمساعدة الأفراد على الحصول على أفضل المنافع بعضهم من بعض من دون تقويض للاهتمامات المشتركة التي تدعم حياة المجموعة.

ولنتخذ حدثا جديدا تم خلال إجراء أبحاثي في مركز يركس القومي لأبحاث الرئيسات بأتلانتا. لقد دربنا قرود كابوشين على أن تصل إلى آنية طعام بسحب قضيب متصل بحامل آنية الطعام. وجعلنا الحامل أثقل وزنا مما يقدر عليه فرد واحد، حتى نوجد سببا يدفع القرود إلى التعاون.

في إحدى المرات، تم السحب بوساطة القردتين <بيا> و<سيا>. ولوجودهما في قفصين متلاصقين، نجحتا في جعل الحامل وعليه آنيتا الطعام في متناولهما. ولكن القردة <سيا> كانت متعجلة في حصد جائزتها إذ حررت القضيب وانتزعت آنية طعامها قبل أن تحصل القردة <بيا> على طعامها. وارتد الحامل للوراء بعيدا عن متناول القردة <بيا>. وفيما كانت القردة <سيا> تمضغ طعامها بصوت عال، انتابت القردة <بيا> نوبة غضب، وأطلقت صيحة بملء أنفاسها لنصف دقيقة إلى أن اقتربت القردة <سيا> من قضيب السحب مرة ثانية، ثم ساعدت القردة <بيا> على أن تُقرِّب الحامل مرة ثانية. ولم تقم القردة <سيا> بذلك لمصلحتها الخاصة، لأن آنية الطعام المتاحة لها كانت خالية.

ويبدو أن السلوك التصحيحي للقردة <سيا> كان استجابة لاحتجاج القردة <بيا> بسبب فقدانها مكافأة متوقعة. ويأتي مثل هذا الفعل أكثر قربا للصفقات الاقتصادية البشرية منه لحيوانات السرطان الناسك؛ لأنه يوضح تعاونا واتصالا وتحقيقا لمطلب متوقع، بل ربما إحساسا بالالتزام. ويبدو أن القردة <سيا> كان عندها إحساس بموقف المبادلة أو المقايضة، أو أخذ شيء ما مقابل إعطاء شيء آخر quid pro quo. وهذا الإحساس ليس مفاجأة، إذا علمنا أن حياة الجماعة لقرود كابوشين تدور حول هذا المزيج نفسه من التعاون والتنافس الذي يميز مجتمعاتنا البشرية.

تطور التبادلية(**)

يحدث أحيانا، في الحيوانات والبشر أن يساعد الفرد الآخر من دون أي فوائد واضحة تعود على الفرد المُعين. كيف نشأ مثل هذا السلوك؟ تكون إجابة هذا السؤال سهلة نسبيا لو أن المساعدة قد قُدمت لفرد من العائلة. ويتعرف البيولوجيون الميزات الوراثية لتلك المساعدة: إذا عاش قريبك، ازدادت أرجحية أن تجد جيناتك طريقها إلى الجيل التالي. لكن التعاون بين أفراد من غير ذوي القرابة يوحي

نظرة إجمالية/ اقتصادات تطورية(*)

- ينظر مجال علم الاقتصاد السلوكي الجديد إلى الوسيلة التي يُجري بها البشر تعاملاتهم على أنها تراث متطور لنوعنا.
- تماما كما يؤثر مبدأ المقايضة «واحدة بواحدة» ومبدأ العرض والطلب في تجارة السلع والخدمات في اقتصادات البشر، هما يؤثران أيضا في أنشطة التعامل بين الحيوانات.
- تشكل الاستجابات العاطفية ـ مثل الثورة ضد التدابير غير العادلة ـ أساس المفاوضات عند الحيوانات والبشر كليهما.
- قد يفسر علم النفس التقاسمي السلوكيات الغريبة من قبيل الإيثارية، على أنها جزء من خلفيتنا السابقة كرئيسات متعاونة.

(*) Overview/ Evolved Economics
(**) The Evolution of Reciprocity

ما الذي يُحرك التبادلية(*)

يتبادل البشر والحيوانات الأخرى المنافع بعدة وسائل تعرف تقنيا بآليات التبادلية. ومهما كانت الآلية، فإن الخيط العام فيها هو أن المنافع تجد طريقها عائدة إلى الواهب الأصلي.

آلية التبادلية	الملامح الأساسية
اعتمادية التماثل «فكرة التوافق»	تحرك المودة المتبادلة بين طرفين سلوكا متشابها في كلا الاتجاهين من دون الحاجة إلى تتبع مسار عمليات العطاء والأخذ اليومية، مادامت العلاقات تظل مُرْضية في جملتها. وربما كانت هذه هي أكثر آليات التبادلية شيوعا في الطبيعة. وهذا هو الطراز النمطي في البشر والشمپانزات ذات العلاقات الوثيقة. **مثال:** تتزامل الشمپانزات الأصدقاء، ويفلي بعضها بعضا ويدعمه في المعارك.
الاتجاه السلوكي «إذا كنت لطيفا معي سوف أكون لطيفا معك» 	يعكس كل من الطرفين الاتجاه السلوكي للطرف الآخر، فيتبادلان المجاملة لحظيا ويحدث تبادل المجاملة لحظيا بين القرود، وغالبا ما يعتمد عليها البشر مع الغرباء. **مثال:** تتقاسم قرود كاپوشين الغذاء مع القرود التي تساعدها على جذب حامل أواني الطعام.
محسوبة «ماذا قدمت لي مؤخرا؟» 	يتتبع الأفراد مسار المنافع التي يتبادلونها مع رفقاء معينين بذاتهم، وهذا يساعدهم على تقرير لمن يردون الجميل. وهذه الآلية نمطية في الشمپانزات وشائعة بين البشر في العلاقات غير الوثيقة الصلة والعلاقات المهنية. **مثال:** تستطيع الشمپانزات توقع الحصول على غذاء بعد الظهيرة من الشمپانزات التي فلّتها في الصباح.

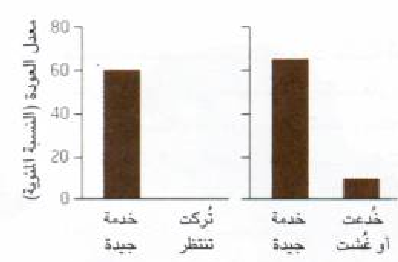
بأنه لا توجد ميزات وراثية عاجلة. ولقد قدم الأمير الروسي <P. كروپوتكن> تفسيرا مبكرا لذلك في كتابه «المساعدة المتبادلة» الذي نشر عام 1902، وكانت حجته في ذلك هي أنه إذا كانت المساعدات جماعية كان أمام جميع الأطراف فرصة للكسب ـ وتزداد فرص كل فرد للبقيا. ولكن كان علينا أن ننتظر حتى عام 1971 ليصوغ <L .R. تريڤرز> [الذي كان حينها في جامعة هارڤرد] القضية بمصطلحات تطورية حديثة مع نظريته عن **الإيثارية** altruism التبادلية.

وكان <تريڤرز> يقول بأن تقديم تضحية للآخر يكون مجزيا لو أن الآخر رد المعروف. ويمكن اختصار التبادلية في: «سأحك ظهرك بأظافري إذا فعلت أنت ذلك بظهري.» هل تُظهر الحيوانات مثل هذه المقايضة «واحدة بواحدة» tit for tat؟ تكوّن القرود والقردة العليا تحالفات فيما بينها، حيث يتحالف قردان أو أكثر على ثالث. ولقد وجد الباحثون علاقة إيجابية بين كم مرة يدعم القرد (A) القرد (B) وكم مرة يدعم القرد (B) القرد (A). لكن هل يعني هذا أن الحيوانات تستطيع حقيقةً تتبع الخدمات المقدمة منها أو التي تتلقاها؟ إن الأمر قد لا يعدو أنهم يقومون بتصنيف العالم إلى «لارفقاء» buddies هم الذين يفضلونهم و«لارفقاء» لا يعيرونهم إلا قليل الاهتمام. فإذا كانت هذه الأحاسيس متبادلة، فإن العلاقات ستكون إما نافعة تبادليا وإما غير نافعة تبادليا. ويمكن لمثل هذه التماثلات أن تفسر التبادلية التي وصفت في الأسماك والخفافيش مصاصة الدماء (التي تتقيأ الدم لرفقائها) والدلافين وكثير من القرود.

ومجرد كون هذه الحيوانات قد لا تستطيع تتبع مسار الخدمات المقدمة لا يعني أنه ينقصها التبادلية. والقضية على الأرجح هي كيف أن الخدمة المقدمة للآخر تعود **للمُؤْثر غيرَه** altruist الأصلي. ما هي بالضبط آلية التبادلية؟ حفظ السجل العقلي هو مجرد إحدى الطرق لجعل التبادلية تعمل، وما إذا كانت الحيوانات تفعل هذا يبقى قيد الاختبار. وحتى الآن الشمپانزات هي الاستثناء الوحيد، حيث هي في البرية تصطاد في مجموعات لاقتناص قردة كولوبوس. تقتنص إحداها عادة الفريسة، ثم تمزقها وتتقاسمها. ومع ذلك، لا يحصل كل شمپانزي على قطعة، بل حتى أعلى الذكور منزلة قد يستجدي الطعام من دون جدوى إذا لم يشارك في الصيد. ويوحي هذا ذاته بالتبادلية: إذ يبدو أن القناصة تستمتع بأولويتها خلال توزيع الغنائم.

وفي محاولة لمعرفة الآليات الفعالة هنا، استثمرنا ميل هذه القرود لأن يشارك بعضها بعضا ـ وهذا ما تظهره أيضا وهي في الأسر ـ بتسليم أحد الشمپانزات في مستعمرتنا بطيخة أو بعض الفروع المورقة. والحائز لهذه المنحة يكون في مركز الزمرة المتشاركة، وسرعان ما تتبعها زمر أخرى تحوم حول الأفراد التي نجحت في الحصول على نصيب كبير، ويتوزع الغذاء جميعه على كل فرد. ولم يُسمع من قبل أنه قد حدث بين الشمپانزات محاولة الاستيلاء على غذاء فرد آخر بالقوة، وهي ظاهرة تعرف باسم «احترام الملكية». يمد المتسول منها يده وراحتها متجهة إلى أعلى، بشكل مماثل إلى حد كبير لما يفعله شحاذو البشر في الطرقات. إنها تتذمر وتعوي، لكن المواجهات العدوانية نادرة. ولو حدثت هذه المواجهات،

(*) What Makes Reciprocity Tick



تقضم السمكة المنظِّفة الطفيليات في الفم المفتوح لسمكة كبيرة زبونة. ونادرا ما تعود السمكة الجوالة إلى محطة السمكة المنظفة إذا تُركت تنتظر طويلا *(الرسم البياني الأيسر)* أو خُدعت *(الرسم البياني الأيمن)*، أي إن السمكة المنظفة أخذت قضمة من نسيج جسمها السليم. ولذلك تميل السمكة المنظفة إلى أن تعامل الزبونات الجوالات أفضل من المقيمات، التي لا يوجد أمامها فرص لاختيار محطات نظافة.

فإن المالك يكاد يكون دائما هو البادئ لجعل فرد ما يترك الحلبة. إنها تضرب المزعجين منهم بشدة على الرأس بفرع كبير الحجم أو تنبح في وجوههم بأصوات صارخة حتى يتركوها وشأنها. ومهما تكن مرتبة المالكين فإنهم يتحكمون في مسار الغذاء.

ولقد حلّلنا نحو 7000 حالة من هذه المقاربات بمقارنة مدى تسامح حائزي أشياء معينة مع من يتسولون هذه الأشياء كرد على خدمات سبق أن تلقوها منهم. وقد كان لدينا سجلات تفصيلية عن **التفلية** grooming التي تحدث بين الحيوانات صباح أيام كنا نخطط فيها لإجراء اختبارات غذاء. فمثلا إذا كان الذكر السائد ‹سوكو› قد فلّى الأنثى ‹ماي›، في الصباح فإن فرص حصوله بعد الظهيرة على بعض الأغصان منها سوف تزداد كثيرا. وقد ثبت أن هذه العلاقة بين سلوك الماضي والحاضر هي علاقة عامة، ولا تستطيع روابط التماثل أن تفسر هذه النتيجة، لأن النمط يختلف من يوم إلى آخر. ودراستنا هذه كانت أول دراسة في عالم الحيوان توضح عمليا ارتباط ما يُتلقّى وما يُقدم من خدمات. إضافة إلى ذلك، فإن صفقات تقديم الغذاء مقابل التفلية هذه محددة بالشريك، بمعنى أن تسامح القردة ‹ماي› أفاد القرد ‹سوكو›، الذي فلّاها، وليس أي قرد آخر.

وتتطلب هذه الآلية التبادلية ذاكرة للأحداث السابقة وكذلك «تلوين» الخبرة السابقة بحيث يؤدي ذلك إلى توليد أسلوب ودّي بين متبادلي الخبرة. وفي نوعنا البشري، تعرف عملية «تلوين» الخبرة هذه باسم «العرفان بالجميل» ولا يوجد أي سبب لنطلق عليها شيئا آخر في الشمبانزات، ولكننا مازلنا غير متأكدين ما إذا كانت القردة العليا تشعر بالإحساس بالدَّين للآخرين، ولكن ما يثير الاهتمام أن الميل لرد الخدمات ليس هو نفسه في جميع العلاقات. فتكثر الملاطفة بين الأفراد التي تجتمع ويفلّي بعضها بعضا مرات كثيرة، لكن ليس لجلسة واحدة من التفلية أهمية تذكر في الملاطفة. ومن المحتمل أن جميع أنواع المقايضات اليومية تتم بينها من دون تتبع مساراتها، بل عوضا عن ذلك، يبدو أنها تتبع منظومة «الرفقاء» السابق مناقشتها. ولا تبرز التفلية مستحقة بذاتها مكافأة إلا في العلاقات الأكثر بعدا. ولأن القرد ‹سوكو› والقردة ‹ماي› لم يكونا صديقين حميمين، كانت تفلية ‹سوكو› جديرة بالملاحظة.

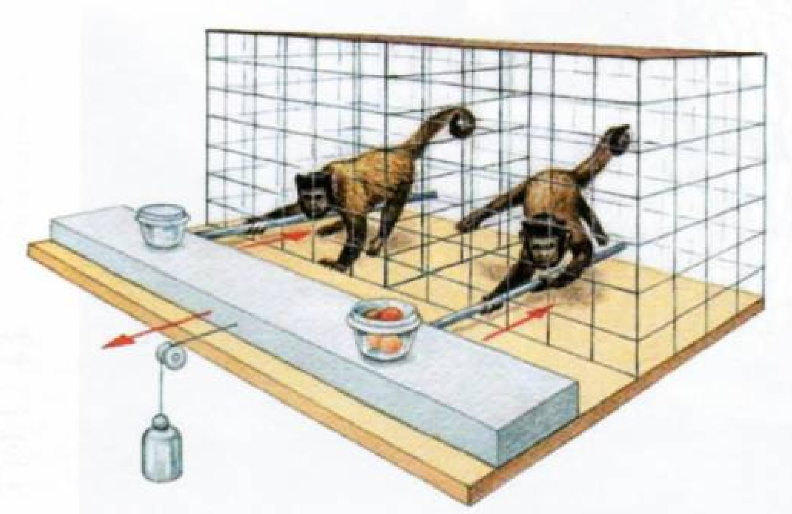
ويتجلى في سلوك البشر اختلاف مشابه، حيث نكون أكثر نزوعا لتتبّع التعاملات المتبادلة في الأخذ والعطاء مع الغرباء والزملاء عما نفعله مع أصدقائنا وعائلتنا. بل الواقع إن تسجيل هذه التعاملات في العلاقات الوثيقة، كما هي بين الأزواج، يكون علاقة مؤكدة لعدم الثقة.

أسواق بيولوجية(*)

وحيث إن التبادلية تتطلب شركاء، فإن اختيار الشريك يعتبر قضية أساسية في علم الاقتصاد السلوكي. إن إسكان البيوت الخالية عند السرطانات الناسكة أمر بسيط

(*) Biological Markets


تدفع إناث البابون الثمن بالتفلية لتختلس النظر إلى صغير حديث الولادة، وكلما قل عدد الصغار، زاد الوقت المطلوب للتفلية. وتزداد قيمة السلعة ـ صغار البابون في هذه الحالة ـ كلما شح وجودها.



تُظهر تجربة جذب حامل أواني الطعام أن قرود كابوشين تميل إلى تقاسم الطعام مع الرفقاء المتعاونين أكثر من أولئك غير المتعاونين. تؤوي حجرة الاختبار قردين كابوشيين يفصل أحدهما عن الآخر شبكة. ولكي يصل القردان إلى أواني طعامهما عليهما أن يستخدما قضيبا لجذب حامل الأواني المُعادل، وهذا الحامل أثقل مما يستطيع القرد أن يجذبه بمفرده. ويعمل القرد العامل laborer (*في اليسار*) الذي تبدو آنية طعامه الشفافة فارغة، لصالح «الرابح» الذي يوجد طعام في آنية طعامه. وعموما يتقاسم الرابح الغذاء مع العامل من خلال الشبكة. أما إذا لم يفعل ذلك فإن العامل يفقد الاهتمام بالأمر.

إلى أبعد حد مقارنا بالتأثرات بين الرئيسات، والتي تتضمن العديد من الشركاء التي تتبادل فوائد عديدة مثل التفلية والجنس والدعم في العراك والطعام والعناية بالصغار ونحو ذلك. وهذا «السوق التجاري للخدمات»، كما أطلقت عليه في كتابي «*سياسات الشمبانزات*» *Chimpanzee Politics*، يعني أن كل فرد يحتاج إلى أن يكون على علاقات طيبة بالفئات الأعلى ليعزز مشاركات التفلية، بل ليعقد - إذا كان طموحا - صفقات مع الأفراد الأخرى التي تشاركه هذا التفكير. فذكور الشمبانزات تكوّن تحالفات لتحدي الحاكم المتسلط، وهي عملية محفوفة بالمخاطر. وبعد تنحية الزعيم، يحتاج الحاكم الجديد إلى أن يحافظ على رضا مؤيديه؛ فالذكر السائد الذي يحاول احتكار امتيازات القوة، مثل الاقتراب من الإناث، لا يُحتمل أن يحتفظ بوضعه طويلا. ولقد قامت الشمبانزات بذلك من دون أن تقرأ ما كتبه <N. مكيافلي>[1].

فإذا كان كل فرد يبحث عن أفضل الشركاء ويبيع خدماته يصبح إطار التبادلية مسألة عرض وطلب، وهذا هو ما كان تماما في ذهن كل من <R. نو> و<P. هامرشتاين>، [اللذين كانا عندئذ في معهد ماكس پلانك لفيزيولوجيا السلوك في سي ڤايزين بألمانيا] في نظريتهما عن السوق البيولوجية. وهذه النظرية، التي تنطبق حيثما كان بإمكان شركاء تجارة اختيار من يتعاملون معهم، تقول بأن قيمة البضائع والشركاء تختلف مع إمكانية الحصول عليها. وقد وضّحت هذه النقطة دراستان لقوى السوق: تتعلق إحداهما بسوق الصغار بين قرود البابون، والأخرى خاصة بأداء العمل عن سمك صغير يسمى **اللابروس المنظف** cleaner wrasses.

فمثل جميع إناث الرئيسات تنجذب إناث البابون للصغار بشدة لا تقاوم - ليس فقط لصغارها بل أيضا لصغار الآخرين: بحيث تطلق أصواتا صديقة (قُباعا يشبه صوت الخنزير) وتحاول لمسها. بيد أن الأمهات من ناحية أخرى، تكون متشددة في حماية ولائدها العزيزة، ولا تسمح لأي فرد بأن يمسها، ولذلك يتحتم على الإناث الراغبة في الاقتراب أن تفلي الأم، فيما هي تختلس النظر للرضيع المتعلق بكتف الأم أو يربض أسفل ذراعها. وقد تستسلم الأم، بعد جلسة تفلية واسترخاء، لرغبة الأنثى الفالية في نظرة عن قرب. وهكذا تشتري الأنثى الأخرى وقت الطفل. وتتنبأ نظرية السوق بأن قيمة الصغار سوف ترتفع إذا قل عددها في موضع ما. وفي دراسة عن قرود بابون **الشقمة** chacma البرية في جنوب إفريقيا، وجد كل من <L. باريت> [من جامعة ليڤربول] و<P. هنري> [من جامعة سنترال لانكشاير] (وكلتاهما في إنكلترا)، أن الأمهات التي تكون في حشد يندر فيه الصغار لديها بالفعل القدرة على كسب مقابل أكبر (أي وقت تفلية أطول) مقارنةً بأمهات في حشد حافل بالصغار.

أما أسماك **اللابروس المنظفة** *Labroides dimidiatus* فهي أسماك بحرية صغيرة تتغذى بالطفيليات الخارجية للأسماك الأكبر حجما. ولكل سمكة منها «محطة» على شعب مرجاني حيث يأتي العملاء (وهي هنا الأسماك الكبيرة) لتبسط زعانفها الصدرية وتتخذ وضعا يعطي فرصة للسمكة المنظفة لأن تقوم بعملها. وتمثل هذه المقايضة مثالا نموذجيا **للتبادلية** mutualism.

وتقضم السمكة المنظفة الطفيليات مخلصة منها سطح جسم السمكة الكبيرة (العميل) وخياشيمها، بل حتى ما بداخل فمها. وأحيانا قد تكون السمكة المنظفة مشغولة إلى حد أن العميلات (الأسماك الكبيرة) تقف صفا بانتظار دورها. ويوجد صنفان من العميلات: المقيمات والجوالات. وتنتمي المقيمات إلى أنواع لها مناطق إقليمية محدودة، وليس لديها خيار غير أن تذهب إلى منظفتها المحلية. أما الجوّالات، من جهة أخرى، فهي إما أن تكون لها مناطق إقليمية كبيرة وإما أنها ترتحل لمسافات طويلة، مما يعني أن أمامها بضع محطات للتنظيف يمكنها أن تتخير ما تشاء منها. وترغب الجوالات في ألا تطول فترات انتظارها فضلا على تطلّبها خدمة ممتازة وألا تُغَش أو يُحتال عليها. ويحدث الاحتيال عندما تأخذ السمكة المنظفة قضمة من عميلتها لتغتذي بغشائها المخاطي السليم، مما يدفع العميلة إلى القفز والسباحة بعيدا.

وتقوم الأبحاث التي أجراها <B. ردوان> [من معهد ماكس پلانك في سيڤايسين] أساسا على ملاحظات تجري في الشعب المرجاني، ولكنها تتضمن أيضا تجارب بارعة في المختبر. وقراءة مقالات <ردوان> العلمية تشبه إلى حد بعيد قراءة كتيب لممارسة جيدة للتجارة. فالأرجح أن تجنح الأسماك الجوالة إلى تغيير محطاتها إذا تجاهلتها السمكة المنظفة طويلا أو خدعتها. ويبدو أن المنظّفات تعرف هذا، فهي تعامل الجوّالات بأسلوب أفضل من معاملتها للأسماك المقيمة. وإذا وصلت سمكة جوالة وأخرى مقيمة إلى المحطة في وقت واحد فالذي يحدث دائما - تقريبا -

(1) رجل الدولة الفلورنسي (المتوفي 1527)، مؤلف الكتاب الشهير *Del Principe*، والذي لا يبالي بالقيم والأخلاقيات في السياسة، ويعمل أي شيء لبلوغ غاياته. (التحرير)



رفض مبادلة الحصى
رفض قبول شرائح الخيار
تبادلات فاشلة (نسبة مئوية)
80
60
40
20
0
اختبار اللاإنصاف
اختبار الإنصاف

لقرود الكابوشين أفضليات محددة عندما تُقدم على الغذاء. إنها تفضل، مثلا، الفاكهة على الخضراوات مثل نبات الكرفس، الذي يتناوله هذا الكابوشين مع كثير من التردد. وعندما تُدرّب هذه القرود على تبادل حصى مقابل شريحة خيار تقوم بذلك بسعادة مادام الخيار يُقدَّم للقرد الذي في حجرة الاختبار المجاورة (*اختبار الإنصاف في الرسم البياني*). لكن عندما كان يقدم للقرد في القفص المجاور عنب فيما هي باقية على تلقي شرائح الخيار (*اختبار عدم المساواة*)، فإنها كانت تتوقف فجأة أمام هذا الجزاء غير المنصف. فقد كانت إما أن ترفض قبول شرائح الخيار، وفي بعض الأحيان كانت تلقي بها خارج القفص، وإما أن ترفض إعادة الحصاة.

أن تقدم السمكة المنظفة خدماتها للسمكة الجوالة أولا، فالسمكة المقيمة ليس أمامها مكان آخر تذهب إليه. ولذلك يمكن تركها تنتظر. والفئة الوحيدة من الأسماك التي لا تستطيع المنظفات خداعها هي المفترسات التي تملك استراتيجية مضادة حاسمة، وهي أن تبتلع السمكة المنظفة. لذلك تتوخى الأسماك المنظفة الحكمة في تعاملها مع المفترسات، وبنص كلمات ‹ردوان› «استراتيجية تعاون غير مشروط.»

وتقدم نظرية السوق البيولوجية حلا رائعا لمشكلة **الأنواع المتطفلة** free loaders، والتي شغلت البيولوجيين زمنا طويلا لأن منظومات التبادلية الشديدة الحساسية لا تصلح ـ طبعا ـ بالنسبة إلى الأنواع التي تأخذ أكثر مما تعطي. وغالبا ما يفترض واضعو النظريات أن المعتدين يجب أن يعاقبوا، على الرغم من أن هذا مازال محتاجا إلى دليل بالنسبة إلى عالم الحيوان. وعلى العكس من ذلك يمكن التعامل مع سلوك الغش بطريقة أسهل. فلو كان هناك اختيار للشركاء، فإن الحيوانات يمكنها أن تنبذ ببساطة العلاقات غير المُرضية لها وتستبدل بها علاقات تقدم فوائد أكثر. وآليات السوق هي كل ما هو مطلوب للاستقلاليين. وفي مجتمعاتنا الخاصة نحن، أيضا، لا نحب ولا نثق في أولئك الذين يأخذون أكثر مما يعطون، ونميل إلى أن نبقى بعيدا عنهم.

الإنصاف إنصاف[*]

ولكي يجني فرد ما فوائد التعاون، عليه مراقبة مجهوداته بالنسبة إلى الآخرين وأن يقارن مردودها بالجهد المبذول فيها. ولكي نتحرى هل تقوم الحيوانات فعلا بهذه المراقبة، عُدنا إلى قرودنا الكابوشية، نختبرها في سوق عمل مُصغر مستوحى من ملاحظات حقلية لقرود كابوشين تهاجم سناجيب عملاقة. وصيد السنجاب مجهود مجموعة، لكن المكافأة كلها تنتهي بيد فرد واحد: الآسر (القانص). ولو أن كل آسر احتفظ بالفريسة لنفسه، فلنا أن نتخيل أن الآخرين سيفقدون اهتمامهم بمشاركتهم في المستقبل. تتقاسم قرود كابوشين اللحم للسبب نفسه الذي تقوم به الشمپانزات (والبشر) بذلك: لا يمكن وجود صيد مشترك من دون ناتج ربح مشترك.

لقد حاكينا هذا الموقف في المختبر بأن تأكدنا أن قردا واحدا فقط (والذي أطلقنا عليه الرابح) من القردين جاذبيْ حامل أواني الطعام قد تلقّى آنية بها قطع تفاح، أما شريكه (العامل) فلا يوجد طعام في آنيته، كما كان واضحا من البداية إذ إن آنية الطعام كانت شفافة. وهكذا يكون القرد العامل قد جذب الحامل لفائدة القرد الرابح. ويجلس القردان جنبا إلى جنب، تفصلهما شبكة. وقد عرفنا من اختبارات سابقة أن حائزي الغذاء يمكنهم أن يحملوا الغذاء إلى الحاجز ويسمحوا لجارهم أن يصل إليه من خلال الشبكة، وفي حالات نادرة، كانوا يدفعون قطع طعام إليه.

ولقد أجرينا مقارنة بين الجذب الجماعي والجذب المنفرد. ففي إحدى الحالات كان لكل قرد قضيب جذب وكان حامل الأواني ثقيلا، وفي الحالة الأخرى، كان لا يوجد لدى الشريك قضيب جذب وكان لدى الرابح قضيب سحب متصل بحامل أوانٍ خفيف يمكن جذبه بوساطة قرد واحد. ولقد أحصينا حالات أكثر لتقاسم الطعام بعد السحب الجماعي منه في السحب المنفرد: وفي الواقع كان الرابحون يكافئون شركاءهم على المساعدة التي تلقوها. ولقد أثبتنا أيضا أن المشاركة تؤثر في التعاون المستقبلي. ولأن معدل نجاح زوج القرود كان سيهبط لو أن الرابح كان لا يقاسم شريكه، فإن مكافأة العامل تكون استراتيجية ذكية.

وقد ذهبت ‹F .S. بروسنان› [إحدى زميلاتي في يركس] إلى مدى أبعد في استكشاف ردود فعل تقسيم المكافآت. حيث كانت تقدم حصاة صغيرة لقرد كابوشين ثم تمسك بشريحة من الخيار كإغراء لاستعادة الحصاة. أدركت القرود بسرعة مبدأ التبادل. ولوحظ أن القردين المتجاورين جنبا إلى جنب يتبادلان الحصى بالخيار مع الباحث بسرور. أما لو أن أحدهما حصل على عنب في حين استمر الآخر على الخيار، فإن الأمور كانت تأخذ منحى غير متوقع: إذ لما كان العنب أكثر تفضيلا، فإن القرود التي كانت راغبة في شرائح الخيار أضربت فجأة عن هذا، فهي لم تكن تؤدي دورها على مضض فحسب (حيث كانت ترى أن القرد الآخر يحصل على صفقة أفضل)، بل إنها كانت تنتابها حالة هياج قاذفةً بالحصى خارج حجرة الاختبار، بل حتى شرائح الخيار في بعض الأحيان، والطعام الذي كان لا يُرفض أبدا في الأحوال العادية، صار أقل من أن يُرغب فيه.

ورفض الجزاء غير المنصف ـ والذي يقوم به البشر أيضا ـ يخالف افتراضات الاقتصادات التقليدية. فلو أن زيادة الفوائد إلى حدها الأقصى كانت هي كل ما يهم في الموضوع، فإن الفرد يجب أن يأخذ ما يستطيع الحصول عليه وألا يترك أبدا فرصة للاستياء أو الحسد للتدخل. ومن جانب آخر، يفترض علماء الاقتصاد السلوكي أن التطور قد أدى إلى عواطف تحفظ روح التعاون وأن مثل تلك العواطف تؤثر بقوة في السلوك. وعلى المدى القصير قد يبدو الاهتمام بما

(*) Fair Is Fair

التتمة في الصفحة 55

تطور أسماك إلى حيوانات رباعية الأرجل[*]

تلقي الاكتشافات الحديثة للأحافير[1] الضوء على تطور أسماك إلى حيوانات رباعية الأرجل.

<J. A. كلاك>

في خلال نحو أربعة بلايين سنة منذ بدء الحياة على الأرض، أحدث التطور بعض التحولات المدهشة. ومن المؤكد أن أحد أكثر هذه التحولات إثارة هو ذلك الذي أدّى إلى ظهور مخلوقات تحمل أرجلا وأصابع من أسماك مرتبطة بالماء ولها زعانف. وفي عصرنا الحالي فإن هذه المجموعة ـ رباعيات الأرجل ـ تشمل كل شيء بدءا من الطيور وأسلافها من الدينوصورات حتى العظايا والثعابين والسلاحف والضفادع والثدييات بما فيها نحن. وقد حورت بعض هذه الحيوانات أطرافها أو فقدتها، غير أن سلفها المشترك كان يملكها ـ اثنين في الأمام واثنين في الخلف ـ حيث كانت الزعانف تضرب بدلا منها.

وقد كان إحلال الأطراف محل الزعانف خطوة حاسمة في هذا التحول، ولكنها لم تكن ـ بأية حال ـ الخطوة الوحيدة. فعندما غامرت رباعيات الأرجل بالانتقال إلى الشاطئ واجهت تحديات لم يصادفها أي حيوان فقاري من قبل، فلم يكن ذلك مجرد نمو أرجل ومشي، فاليابسة وسط يختلف اختلافا جوهريا عن الماء، وفرض غزوه على رباعيات الأرجل أن تطور وسائل جديدة لكي تتنفس وتسمع وتقاوم الجاذبية... وتمتد القائمة. وما إن اكتملت هذه التحولات البالغة، أصبحت اليابسة ملكا لها لتستثمرها.

وحتى 15 عاما مضت لم يكن علماء الأحافير (الإحاثة) يفهمون سوى القليل عن تسلسل الأحداث

(*) العنوان الأصلي: GETTING A LEG UP ON LAND

(1) fossil: أحفورة (مستحاثة).

الصعود من أجل الهواء: كانت الأكانثوستيكا، وهي حيوانات رباعية الأرجل مبكرة، تصعد إلى السطح في مستنقع (فيما يعرف حاليا بشرقي گرينلاند) قبل نحو 360 مليون سنة. ومع أن هذه الحيوانات كان لها أربع أرجل، فإنها لم تكن قادرة على حمل أجسامها على اليابسة. وبناء على ذلك فبدلا من تطوير الأرجل كتكيف للحياة على اليابسة، يبدو أنها في البداية عملت على مساعدة الحيوان على رفع رأسه خارج المياه الفقيرة في الأكسجين لكي يتنفس، وأنها في وقت لاحق اكتشفت استخدامها للوصول إلى الشاطئ.

التي أدت إلى التحول من الأسماك إلى رباعيات الأرجل. لقد عرفنا أن رباعيات الأرجل تطورت من أسماك لحمية الزعانف تماثل الأسماك الرئوية **والأسماك المجوفة الأشواك** coelacanth الحالية، وهي علاقة كان أول من اقترحها عالم الأحافير الأمريكي <D .E. كوب> في أواخر القرن التاسع عشر، إلا أن تفاصيل هذا التحول الأساسي ظلت مختفية عن الأنظار. إضافة إلى ذلك، إن التقديرات عن متى أصبح هذا الحدث معروفا وظاهرا تختلف كثيرا وتتراوح من 400 مليون إلى 350 مليون سنة مضت خلال العصر الديڤوني. وقد تمثلت المشكلة في أن السجل الأحفوري الوثيق الصلة بالموضوع كان ضئيلا، ويتألف أساسا من سمكة وحيدة من هذا النوع - **يوستينوپتيرون** *Eusthenopteron* - ورباعي أرجل من العصر الديڤوني - ***إكثيوستيكا*** *Ichthyostega* - وكان متقدما جدا يصعب معه توضيح أسس رباعيات الأرجل وجذورها.

ومع هذه المفاتيح الضئيلة والقاصرة لم يكن أمام العلماء سوى الحدس والظن في طبيعة ذلك التحول. وربما كان أكثر السيناريوهات المعروفة الناتجة من هذا العمل التخميني ذلك الذي قاده عالم الأحافير الفقارية <A .Sh. رومر> [من جامعة هارڤارد] الذي اقترح في الخمسينات أن أسماكا مثل «يوستينوپتيرون» جنحت تحت ظروف الجفاف واستخدمت أطرافها العضلية لتحريك نفسها إلى مساحة مائية جديدة. وبمرور الوقت، هكذا اتجهت الفكرة، تم انتقاء (انتخاب) تلك الأسماك القادرة على تغطية مسطحات أرضية أكثر والوصول إلى مصادر مائية أبعد، مما أدى أخيرا إلى نشأة أطراف حقيقية. وبمعنى آخر، إن الأسماك خرجت من الماء قبل أن تتطور لها أرجل.

ومن ناحية أخرى، ظهرت منذ ذلك الحين إلى حيز الضوء أحافير كثيرة تدعم هذا التحول. وقد وسعت هذه الاكتشافات مفهومنا لهذه المرحلة الخطيرة من تاريخ الحياة على الأرض على نحو متزايد، وهاجمت الأفكار القديمة الغامضة عن التطور المبكر لرباعيات الأرجل وتنوعها وجغرافيتها الحيوية وإيكولوجيتها القديمة.

إيجاد موطئ قدم(*)

كان بين أولى الأحافير المكتشفة التي تمهد الطريق لفهومنا الحديث عن أصول الخبراء، فإنه كشف عن قصة مختلفة عما كان متنبأ به. فها هنا كان مخلوق له أرجل وأقدام، ولكنه فيما عدا ذلك لم يكن مجهزا للحياة على الأرض. فأطراف الأكانثوستيگا كان ينقصها رسغيات **القدم** ankles الحقيقية التي تدعم ثقل الحيوان على اليابسة وتبدو أكثر شبها بمجاديف للسباحة، ورغم أنه كانت لها رئات فإن ضلوعها الصدرية كانت قصيرة جدا لدرجة لا تسمح بمنع انهيار تجويف الصدر عند خروجها من الماء. وفي الواقع لا يمكن إنكار أن الكثير من مظاهر الأكانثوستيگا وخصائصها كانت تشبه الأسماك، فقد أوضحت عظام الساعد نسَبًا تذكر بالزعنفة الصدرية لسمكة

> إن الكثير من المبتكرات الحاسمة نشأ فيما كانت هذه الحيوانات بَعْدُ مائية على نطاق واسع. ويبدو أن التغيرات الأولى لم تكن مرتبطة بالحركة ولكن بالاعتماد المتزايد على تنفس الهواء.

رباعيات الأرجل، تلك لمخلوق يسمى «أكانثوستيگا» عاش قبل نحو 360 مليون سنة فيما هو حاليا شرقي گرينلاند. وكان أول تعرفه عام 1952 بوساطة <E. چارفيك> [من المتحف السويدي للتاريخ الطبيعي باستوكهولم] على أساس سقفي جمجمتين غير كاملين، إلى أن عثرتُ وزملائي عام 1987 على عينات توضح الهيكل خلف القرنيومي(1) للأكانثوستيگا.

ومع أن هذا الحيوان أثبت في كثير من الوجوه أنه تشريحيا وسطٌ بين الأسماك ورباعيات الأرجل الكاملة النضج كما تخيلها اليوستينوپتيرون، كما أظهرت مؤخرة الهيكل ذيلا عميقا يشبه المجداف تبدو به أشعة عظيمة طويلة كانت مجهزة غالبا كهيكل للزعنفة. هذا إضافة إلى أنه كانت للحيوان خياشيم إلى جانب الرئات.

ويوحي التشابه السمكي بأن أطراف الأكانثوستيگا لم تكن مكيفة للاستخدام في الماء فحسب، وإنما كانت أيضا الحالة السليفية لرباعيات الأرجل. وبمعنى آخر، إن هذا الحيوان رغم كونه رباعي أرجل بوضوح، فقد كان في البداية مخلوقا مائيا، أسلافه المباشرة لم تترك الماء قط. وقد أجبر الاكتشاف الدارسين على إعادة التفكير في كيفية تسلسل حدوث قائمة التغيرات في الهيكل. لقد أثبتت الأحافير الجديدة أن رباعيات الأرجل طورت هذه الخصائص وهي لاتزال تعيش في الماء، وأنها اختارتها للمشي لاحقا، بدلا من تصور أن مخلوقا مثل يوستينوپتيرون زحف على اليابسة، ثم اكتسب أرجلا وأقداما؛ كما افترض <رومر>. ومن ثم، فهذا يعني أن الباحثين كانوا بحاجة إلى إعادة النظر في الظروف الايكولوجية

نظرة إجمالية/ أصل رباعيات الأرجل(**)

- كان ظهور الفقاريات المتحولة إلى اليابسة حدثا يعتبر حجر الزاوية في تطور الحياة على الأرض.
- لعقود، أربك السجل الأحفوري (الإحاثي) الرديء الجهود المبذولة لتتبع الخُطى التي أدت إلى إنتاج رباعيات الأرجل الأرضية هذه من أسلافها السمكية.
- سدت الأحافير (المستحاثات) المكتشفة على مدى الـ15 سنة الماضية الكثير من الثغرات في القصة، وأحدثت ثورة فيما هو معروف عن تطور رباعيات الأرجل وتنوعها وجغرافيتها الحيوية وإيكولوجيتها القديمة. وتدل هذه المكتشفات الحديثة على أن رباعيات الأرجل قد طورت الكثير من خصائصها وهي لاتزال تعيش في الماء، كما أنها تبين أن الأفراد المبكرة للمجموعة كانت أكثر تخصصا وأكثر انتشارا جغرافيا وإيكولوجيا عما كان معتقدا.

(*) Finding a Foothold
(**) Overview/ The Origin of Tetrapods
(1) postcranial



التحول إلى رباعيات الأرجل(*)

إن تطور رباعيات الأرجل الأرضية من أسماك مائية فصيّة الزعانف تضمن تحولا جذريا في الهيكل. فمن بين تغيرات أخرى أصبحت الزعانف الصدرية والحوضية أطرافا لها أقدام وأصابع، وأصبحت الفقرات متشابكة بعضها مع بعض، واختفت الزعنفة الذيلية وسلسلة من العظام التي ربطت الرأس بحزام الكتف (هياكل)، وفي الوقت نفسه استطال البوز واختفت العظام التي غطت الخياشيم والحلق (جماجم).

يوسثينوبتيرون
سمكة فصية الزعانف

فقرات غير متشابكة
ضلوع قصيرة جدا
زعانف الخط الوسطي الثلاث
زعنفة حوضية باشعة عظمية
زعنفة صدرية باشعة عظمية
جمجمة مرتبطة بالكتف
حوض صغير غير متصل بالعمود الفقري
بوز قصير بعظام كثيرة
عظام غطاء الخياشيم والحلق

اكانثوستيكا
رباعي أرجل مبكر

فقرات متشابكة بعضها مع بعض
ضلوع أطول
زعنفة واحدة في الخط الوسطي
طرف أمامي بقدم ذات ثماني أصابع
طرف خلفي بقدم ذات ثماني أصابع
حوض أكبر متصل بالعمود الفقري
انفصال الجمجمة عن الكتف
بوز أطول بعظام أقل
غياب عظام غطاء الخياشيم

إكوانيا
إكوانا معاصرة

جمجمة غير مقترنة بالكتف لتكوين عنق
فقرات متشابكة بعضها ببعض
غياب زعانف الخط الوسطي
حوض كبير متصل بالعمود الفقري
ضلوع طويلة مقوسة
طرف أمامي يتحمل الثقل بقدم ذات خمس أصابع
طرف خلفي يتحمل الثقل بقدم ذات خمس أصابع
بوز طويل بعظام قليلة
غياب عظام غطاء الخياشيم

التي أدت إلى نمو الأطراف، لأن الأكانثوستيكا أوضحت أن متطلبات الحياة على الأرض ربما لم تكن هي القوة الدافعة في تطور رباعيات الأرجل.

احتلت الأكانثوستيكا مكانة الحلقة المفقودة بين رباعيات الأرجل الأرضية وأسلافها المائية: بيد أن خاصية من خصائص الأكانثوستيكا لم تكن تدعو إلى التذكير برباعيات الأرجل ولا بالأسماك. كان كل طرف من أطرافها ينتهي بقدم تحمل ثماني أصابع حسنة التكوين بدلا من الخمس المألوفة. وكان هذا عجيبا حقا، حيث كان يعتقد علماء التشريح قبل هذا الاكتشاف أنه في أثناء التحول من الأسماك إلى رباعيات الأرجل نشأت القدم ذات الأصابع الخمس مباشرة من العظام المكونة لزعنفة اليوسثينوبتيرون أو مخلوق مشابه له. وكان من الجائز أن يصرف العلماء النظر عن ذلك، كالمعتاد، باعتباره عينة شاذة؛ غير أن هيكلا جزئيا غامضا **للتيوليربيتون** *Tulerpeton*، وهو رباعي أرجل مبكر من روسيا سبق معْرفته ـ كانت له قدم ذات ست أصابع، وعينات أخرى للأكانثوستيكا تم العثور عليها في أثناء بعثتنا إلى شرقي گرينلاند كشفت أيضا عن قدم بأكثر من خمس أصابع.

لقد ساعدت أبحاث البيولوجيا التكوينية على إزالة بعض هذا الغموض. فنحن نعلم حاليا أن العديد من الجينات بما فيها سلسلة هوكس *Hox* و**القنفذ الصوتي** *Sonic Hedgehog* تتحكم في عناصر تكوين الزعانف والأطراف. وهذه المجموعات نفسها من الجينات توجد في الأسماك ورباعيات الأرجل ولكنها تؤدي وظائف مختلفة في كل منهما. فعلى سبيل المثال يبدو أن مثيلاتها *Hoxd 11* و *Hoxd 13* تقومان بدور أكبر في رباعيات الأرجل، وحيث تكون مناطقها في برعم الطرف أوسع ومنحرفة مقارنة بمثيلاتها في برعم الزعنفة بالأسماك. وتتكون الأصابع في هذه المناطق ويبقى تحديد كيف تتطور القدم ذات الخمس أصابع من القدم ذات الثماني أصابع للأكانثوستيكا؟ ولكنْ لدينا تفسير مقبول للكيفية التي صارت بها القدم ذات الخمس

(*) Turning Tetrapod



افتتاحية بدائية: الإكثيوستيكا هي أبكر رباعيات أرجل معروفة أظهرت تكيفات للحركة غير السباحة، رغم أنه يبدو من المحتمل أنها تحركت أكثر شبها بالفقمة منها إلى الفقاريات البرية النموذجية. وكان لهذا الحيوان أيضا بعض الخصائص المائية متضمنة ذيلا كبيرا وطرفين خلفيين يشبهان المجاديف، إضافة إلى أذن تبدو أنها متخصصة للاستخدام تحت الماء؛ أما كيف قسمت الإكثيوستيكا وقتها بين عالمي اليابسة والماء فهو أمر لم يحدد بعد، لكنها ربما تكون قد حفرت أعشاشها لبيوضها على اليابسة وصادت وتغذت في الماء.

أصابع هي نمط رباعيات الأرجل الخطأ: وهو أنه ربما ساعدت على تكوين روابط للرسغيات يتوافر فيها ثبات يكفي لحمل الوزن، ومرونة تكفي للسماح بطريقة المشي التي ابتدعتها رباعيات الأرجل فيما بعد.

وقد لفتت الأكانثوستيكا أيضا الانتباه إلى جزء في التشريح المبكر لرباعيات الأرجل لم يلق ما يستحق من التقدير سابقا، وهو: الناحية الداخلية للفك السفلي. فالأسماك عامة لها صفان من الأسنان على امتداد فكها السفلي، بعدد كبير من الأسنان الصغيرة على الصف الخارجي مكمِّل لزوج من الأنياب الضخمة وبعض الأسنان الصغيرة على الصف الداخلي. وقد أظهرت الأكانثوستيكا أن رباعيات الأرجل المبكرة كان لها خطة سنية مختلفة: عدد صغير من الأسنان الأكبر على الصف الخارجي واختزال في حجم الأسنان على الصف الداخلي ـ وهي تغيرات ربما تكون قد صاحبت التحول من التغذية حصريا في الماء إلى التغذية على اليابسة أو برفع الرأس فوق الماء.

وقد مكّنت هذه الرؤية الخبراء من تعرف المزيد من رباعيات الأرجل بين البقايا التي ظلت حبيسة أدراج المتاحف، وكان أحد أكبر هذه الاكتشافات إثارةً جنس من العصر الديڤوني المتأخر في لاتفيا يسمى ڤنتاستيگا Ventastega. وفي خلال التسعينات من القرن الماضي، وعقب اكتشاف الأكانثوستيكا، تبين للعلماء أن فكا سفليا، تم جمعه عام 1993 كان لحيوان رباعي الأرجل. وقد أسفر المزيد من التنقيب الاستكشافي في الموقع الأصلي لڤنتاستيگا عن سرعة اكتشاف عينات أكثر، جيدة بصورة استثنائية، متضمنة جمجمة تكاد تكون كاملة.

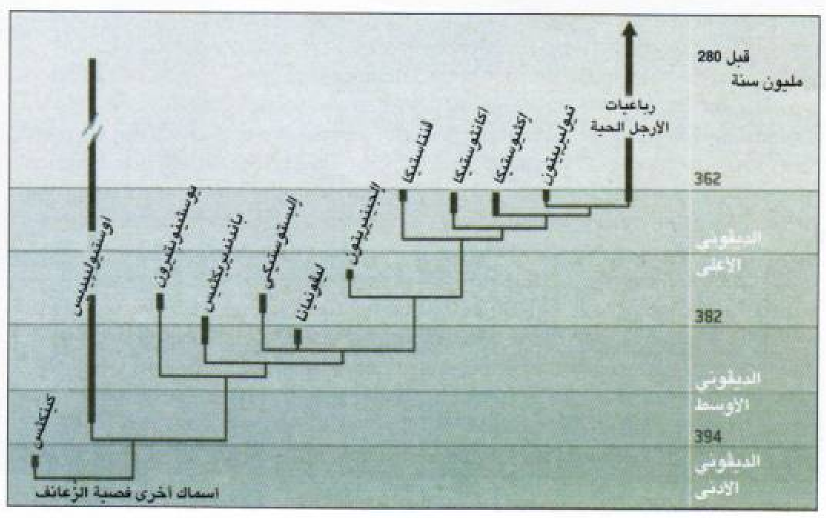
وفي غضون ذلك تم اكتشاف عدد من الأسماك القريبة من رباعيات الأرجل تحسر الثغرة المورفولوجية بين يوستينوپتيرون وأكانثوستيگا. وكان علماء الأحافير قد تعرفوا جنسيْن من هذه الأسماك قبل عدة عقود ولكنهم لم يمعنوا النظر فيهما إلا حديثا، هما: **پانديريكثيس** *Panderichthys*، ويراوح عمره بين 380 مليون و375 مليون سنة، من منطقة البلطيق الأوروبية، وهي سمكة ضخمة لها بوز مدبب وعينان في أعلى رأسها، و**إلپستوستيگي** *Elpistostege*، ويراوح عمره بين 375 مليون و 370 مليون سنة من كندا، وكان كبير الشبه في الحجم والشكل بالجنس پانديريكثيس. كانا، كلاهما، أكثر قربا لرباعيات الأرجل من يوستينوپتيرون. وفي العام الماضي (2004) اكتشفت بعثة إلى جزيرة الليسمير في القطب الشمالي الكندي بقيادة عالم الأحافير <N. شوبين> [من جامعة شيكاغو] بعض البقايا الرائعة الجيدة الحفظ لسمكة أكثر شبها برباعيات الأرجل حتى من پانديريكثيس وإلپستوستيگي، ولم يشرع <شوبين> وفريقه حتى الآن في وصف هذا النوع وتسميته رسميا، إلا أن الظاهر أنه سوف يكون حيوانا آسرا.

نَفَسٌ من الهواء الطلق(*)

وبفضل هذه الاكتشافات والتحليلات الحديثة، أصبح لدينا حاليا بقايا لتسعة أجناس تدعم بالوثائق نحو 20 مليون سنة من التطور المبكر لرباعيات الأرجل، بل حتى وفكرة أكثر وضوحا عن كيف أصبحت الفقاريات مكيفة للمعيشة على اليابسة. إن واحدة من أهم المفاجآت المتعة التي تنبثق من هذا العمل هي أنه، كما في حالة تطور الطرف، الكثير من الابتكارات نشأ فيما كانت هذه الحيوانات لاتزال مائية على نطاق واسع، وأن التغيرات الأولى التي تبدو أنها لم تكن مرتبطة بالحركة ولكن بالاعتماد الزائد على تنفس الهواء.

ومن الغريب بما فيه الكفاية أن هذا التحول في التهوية ربما استحثّ التشكل التدريجي لحزام الكتف والزعنفتين الصدريتين. وبالفعل، كافح علماء البيولوجيا التطورية في تفسير ماذا فعلت الأشكال الانتقالية مثل أكانثوستيگا بأطرافها البدائية إذا لم تكن الحركة. ويقول الافتراض المفضل على أساس الأدلة السائدة بأنه في أثناء التحول التدريجي للزعانف المتجهة للخلف إلى أطراف تواجه الجانبين بمساحات كبيرة لاتصال العضلات، اكتسبت قوة. ومع أن الطرفين الأماميين تطلبا ملايين السنين

(*) A Breath of Fresh Air



صلات القرابة لرباعيات الأرجل: نشأت رباعيات الأرجل من أسماك فصية الزعانف مثل يوسثينوبتيرون قبل نحو 380 إلى 375 مليون سنة، في أواخر العصر الديفوني الأوسط.

ليتطوروا إلى الحد الذي يمكنهما من دعم الجسم على اليابسة فلا بد أنهما عملا خلال هذه الفترة على رفع رأس الحيوان خارج الماء لكي يتنفس، وأن الأصابع قد سهلت هذا النشاط بالمساعدة على توزيع الحمل على الأطراف.

وقد أعلن فريق ‹شوبين› عام 2004 عن اكتشاف **عظم الساعد** humerus لرباعي أرجل عمره 365 مليون سنة، يساند هذه الفكرة. ويظهر من هذا العظم الذي تم استخراجه بالحفر في منطقة غنية بالأحافير في شمال وسط بنسلڤانيا تعرف **رِد هل (الجبل الأحمر)** Red Hill، أنه كان مرتبطا ببقية الجسم عن طريق رابطة مفصلية من نوع الكرة والحُقّ الذي لدينا ولدى جميع الفقاريات الأرضية، وهو نظام لا يسمح بطريقة للمشي ولكنه يمكّن من الدفع لأعلى الذي يحتاج إليه ويستخدمه رباعي أرجل لالتقاط جرعة من الهواء، كما أنه يساعد الحيوان على التوقف مكانَه في الماء بانتظار مهاجمة فريسة.

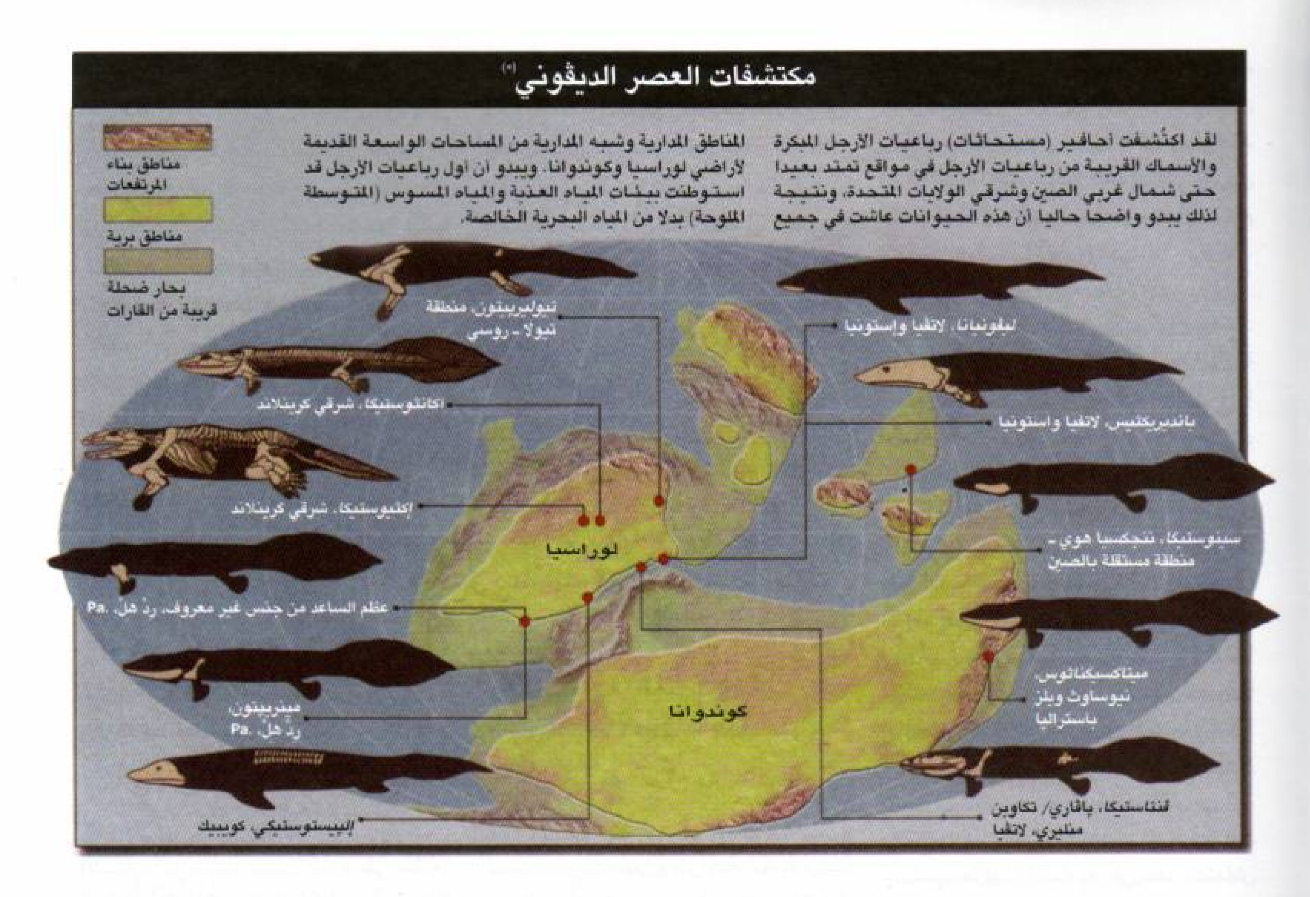
لقد تطلب التنفس فوق سطح الماء أيضا عددا من التغيرات في الجمجمة والفك. ففي الجمجمة استطال البوز وصارت العظام المكونة له أقل عددا ودروزها أكثر التحاما بعضها ببعض لتقوية البوز بطريقة مكنت الحيوان من رفعه خارج الماء في وسط غير مدعم. وأصبحت العظام في مؤخرة الرأس بدورها أكثر عظام الجمجمة اندماجا بقوة مما يعطي ارتكازا ثابتا لعضلات العمود الفقري التي ترفع الرأس بالنسبة إلى الجسم؛ كما أدى التحام العظام المكونة للفك السفلي إلى تقوية هذه المنطقة وتسهيل طريقة «المضخة الفمية» المفترضة لتهوية رباعيات الأرجل. ففي هذا النوع من التنفس المستخدم في البرمائيات والأسماك التي تتنفس الهواء، يتمدد التجويف الفمي وينقبض مثل المنفاخ ليتجرع الهواء ويدفعه إلى الرئتين، وربما تطلب الضخ الفمي قوة أكثر للفكين تحت تأثير الجاذبية الأرضية عنها في الماء، حيث تكون الكائنات تقريبا عديمة الوزن.

ربما جاءت تقوية الفكين بدلا من ذلك كتكيف للتغذية على اليابسة؟ هذا ممكن. لقد كانت أبكر رباعيات الأرجل جميعها لاحمة، ولذلك فمن غير المحتمل أن تكون في طورها البالغ قد تغذت على اليابسة أكثر في أثناء مراحل تطورها الأولى، لأن الفرائس الوحيدة التي كانت تجدها كانت من الحشرات وغيرها من مفصليات الأرجل الصغيرة. ومن ناحية أخرى، كان هذا هو عين ما تطلبه الصغار من الفرائس، والتي كانت في البداية هي التي تغامر بالابتعاد خارج الماء للحصول عليها.

وفي الوقت نفسه، إذا رجعنا للهيكل نجد أن سلسلة من العظام التي تربط الرأس بحزام الكتف قد اختفت. ونتيجة لذلك، كان لرباعيات الأرجل، على خلاف الأسماك، عنق عضلي يربط بين الرأس وبقية الهيكل ويسمح بحركة الرأس منفصلا عن الجسم. وخضع الجهاز الخيشومي أيضا لتجديدات جوهرية بفقد بعض العظام وزيادة حجم الفتحة التنفسية التي توجد أعلى الرأس، وتؤدي إلى كيس ممتلئ بالهواء في منطقة الحلق، مما يجعل الجهاز التنفسي بأكمله أكثر ملاءمة لتنفس الهواء.

ولكن لماذا بدأت بعض الأسماك، بعد ملايين السنين من التنفس بنجاح تحت الماء، في التحول إلى الهواء للحصول على الأكسجين؟ تأتي مفاتيح الإجابة عن ذلك من شكل الجمجمة ككل والتي تبدو، في جميع رباعيات الأرجل المبكرة والقريبة منها التي تم اكتشافها حتى الآن، مسطحة تماما عند النظر إليها من أعلى. إن هذه الملاحظة، إضافة إلى المعلومات عن البيئة القديمة التي تم جمعها من الترسيبات التي وجدت فيها هذه الأحافير، توحي بأن هذه المخلوقات كانت متخصصة في المياه الضحلة وتنتقل إلى أمكنة المياه المنخفضة لصيد الأسماك الصغيرة وربما أيضا للتزاوج ووضع البيض. وربما لم يكن مجرد تزامن أن تزدهر النباتات الوعائية خلال العصر الديڤوني محولّة العالَمَيْن الأرضي والمائي. ولأول مرة أسقطت النباتات المتساقطة الأوراق أوراقها في الماء مع تغيرات الفصول خالقة بيئات كانت جاذبة للفرائس الصغيرة ولكنها تشكل صعوبة على الأسماك لتسبح فيها. إضافة إلى ذلك، تحتوي المياه الدافئة على أكسجين أقل من المياه الباردة، ولذا كانت هذه المناطق فقيرة في الأكسجين. ومادام الأمر كذلك فإن التغيرات في الهيكل هنا ربما تكون قد سمحت لرباعيات الأرجل المبكرة بالوصول إلى المياه التي لا تستطيع أسماك القرش والأسماك الضخمة الأخرى بلوغها بوضعها فوق القدرة التنافسية. لقد كانت مجرد مصادفة أن هذه الخصائص صارت ملائمة للاستخدام على الشاطئ.

إن هذه المبتكرات المرتبطة بالتنفس جعلت رباعيات الأرجل تتجه لأن تصبح جديرة باليابسة. ومن ناحية أخرى، تطلب التشبث باليابسة تحورات إضافية في الهيكل، وكان



الفحص الدقيق لمنطقة الأذن أحد هذه التطورات. إن الكثير من تفاصيل هذا التحول مازال غير معروف، ولكن من الواضح أننا - حتى في الأسماك الشبيهة برباعيات الأرجل التي لايزال لها زعانف، ومن بينها «بانديريكثيس» - نجد أن الجزء الواقع من الجمجمة خلف العينين صار أقصر متمشيا مع انكماش المحفظتين اللتين تؤويان الأذنين الداخليتين. وإذا كانت، كما يوحي الدليل من البيئة القديمة، أسماك بانديركثيس عاشت في مسطحات أو مصبّات جزرية ضحلة فإن اختزال الأذن الداخلية قد يعكس التأثير المتنامي للجاذبية في الجهاز الدهليزي الذي ينسق التوازن والتوجيه. وفي الوقت نفسه، لعل الزيادة في حجم الحجرة الهوائية في الحلق ساعدت حاسة السمع. وفي بعض الأسماك المعاصرة «يمسك» كيس الهواء بالموجات الصوتية ويمنعها من المرور مباشرة إلى جسم الحيوان، ثم تنتقل من هناك بوساطة العظام المحيطة إلى الأذن الداخلية. وتدل الحجرة الهوائية المتسعة الواضحة في أسماك بانديريكثيس على أنها كانت قادرة على أن تعترض موجات صوتية أكثر، وبذلك تزيد من قدرة الحيوان على السمع.

لقد كانت التحورات في منطقة الأذن مرتبطة أيضا بالتحورات في الجهاز الخيشومي. وللعلم، فإن عظمة تعرف بالفكّية اللاميّة - تنسق حركات الغذاء والتنفس في الأسماك - تضاءلت في الحجم واستقرت في حفرة في العُلبة الدماغية، وأصبحت **العظم الركابي** stapes. وفي رباعيات الأرجل المعاصرة يقوم العظم الركابي بتكبير الموجات الصوتية ونقلها من طبلة الأذن عبر المجال الهوائي في الحلق إلى الأذن الداخلية. (وفي الثدييات، التي تمتلك جهازا سمعيا فريدا، يشكل العظم الركابي واحدا من عُظَيْمات الأذن الوسطى الثلاث). لا بد أن المرحلة الأولى من التحول قد حدثت سريعا، حيث كانت في الموضع الملائم عندما ظهرت الأكانثوستيكا، ومن المحتمل جدا أنها نشأت مرادفة للتحول من الزعانف إلى الأطراف ذات الأصابع. ولكن العظم الركابي لم يأخذ دوره المألوف كمكون للأذن السمعية ذات الطبلة المكيفة لليابسة لملايين السنين، وفي الوقت نفسه يبدو أنه عمل في رباعيات الأرجل التي لاتزال مائية كمكوِّن تركيبي للجمجمة.

وهذه التغيرات الهيكلية مجتمعة، استلزمت تغيرات تحوليّة في نظرتنا إلى رباعيات الأرجل المبكرة. فقد تبددت الكايميرا (الخَيْمر) الخرقاء ذات الخيال الشعبي التي لا تلائم الماء ولا اليابسة. فما كان يُعد في وقت ما أعمالا تطورية جارية - مثل طرف أو أذن غير كاملة النمو - نعرف حاليا أنها كانت تكيفات في حد ذاتها، فهي لم تكن ناجحة دائما، ولكنها مع ذلك كانت تكيفات. وفي كل مرحلة من مراحل هذا التحول كان المبتكرون يندفعون نحو بيئات جديدة، بل إن البعض منا كان في الواقع على أعلى مستوى من التخصص لعمل ذلك.

الخروج من القالب(**)

وعلى العموم، إن رباعيات الأرجل ذات الأطراف والقريبة منها المكتشفة حتى الآن

(*) Devonian Discoveries

(**) Breaking the Mold

> **مع أن لدينا حاليا تفسيرا جيدا لماذا تطور الطرفان الأماميان بالطريقة التي تطورا بها، فإنه ينقصنا تفسير لمنشأ الطرفين الخلفيين، حيث لا تتضمن أي من الأحافير المكتشفة حتى الآن ما يستدل به عنهما.**

كانت جميعها حيوانات ضخمة يصل طولها نحو المتر، وكانت تفترس تشكيلة متنوعة من اللافقاريات والأسماك من دون تمييز أو تخصيص. من ناحية أخرى بدأنا نجد استثناءات لهذه القاعدة من عدم التخصصية، منها ليڤونيانا *Livoniana* التي اكتشفها في أحد متاحف لاتڤيا <E.P. البِرك> [من جامعة أوبسالا بالسويد] عام 2000. ويمثِّل هذا الحيوان ببعض أجزاء الفك السفلي التي تبدي أشكالا عجيبة؛ فبدلا من الصفَّيْن المألوفين من الأسنان التي تغطي كلا من جانبي الفك هناك سبعة صفوف. ولا نعرف ماذا كانت تلتهم الليفونيانا بهذه الأسنان التي تشبه حبات الذرة على مُطُرها (عرنوسها)، ولكن غالبا ما كان لها وجبتها الغذائية المختلفة عن وجبة أخواتها.

وتشير الدراسات المتجددة على أول ما عرف من رباعيات الأرجل: الإكثيوستيگا، إلى أنها ـ أيضا ـ حادت عن الصورة المعتادة، بعكس الأفكار الأولى التي كانت متصورة. وطالما حيَّرتْ منطقةُ الأذن والأجزاء المتصلة بها في العلبة الدماغية للإكثيوستيگا العلماءَ والباحثين، لأنها تبدي بنية تختلف عن الموجودة في أي رباعي أرجل آخر أو سمكة من أي عصر. ولكن بمساعدة أحافير جديدة وتحضيرات جديدة لعينات سبق جمعها، وفوق هذا بالأشعة المقطعية الحاسمة للعينات، بدأت وزملائي نتفهم عمليا هذه البنية الغامضة. ويبدو أن أفضل التفسيرات هو أن الإكثيوستيگا كان لها أذن عالية التخصص، ولكنها كانت معدة للاستخدام تحت الماء. فبدلا من أن يكون لها طبلة أذن كما في الكثير من الحيوانات البرية المعاصرة، كان لها على كل جانب من جانبي الرأس حجرة مقوّاة الجدر العليا والجانبية ممتلئة بالهواء، ويمتد في قاعها الغشائي عظم ركابي رقيق يشبه الملعقة، من المفترض أنه كان يهتز استجابة للصوت الذي يصطدم مباشرة بهواء الحجرة، وينقل هذه الاهتزازات إلى الأذن الداخلية من خلال ثقب في جدار العلبة الدماغية. ويدل هذا الترتيب على أن الإكثيوستيگا قد أمضت وقتا طويلا في الماء. وبالمثل فإن الزعنفة الذيلية للحيوان وطرفيه الخلفيين اللذين يشبهان المجاديف توحي بأسلوب الحياة المائية.

إضافة إلى ذلك فإن بعض الأجزاء في هيكل الإكثيوستيگا تنم عن القدرة على التجول على اليابسة، فقد كان لها كتفان وساعدان في غاية القوة كما كانت ضلوع الصدر عريضة جدا ومتراكبة، مكونة مشدا يمنع التجويف الصدري والرئتين من الانطواء والانهيار عندما تكون على الأرض: ومع ذلك من المحتمل أن الإكثيوستيگا لم تتحرك مثل حيوان فقاري بري نموذجي، فقفص الضلوع كان يحد من التموجات الجانبية للجذع التي تحدث نموذجيا في حركة رباعيات الأرجل. وعلى خلاف الأسماك والأكانثوستيگا ورباعيات الأرجل المبكرة الأخرى، كان للإكثيوستيگا أشواك على الفقرات متغيرة الاتجاه على امتداد العمود الفقري مشيرة إلى أن العضلات التي تدعمها كانت مخصصة لوظائف مختلفة وأنها كانت تتحرك بأسلوب فريد. إن هذا الترتيب المتعدد الاتجاهات لأشواك العمود الفقري يماثل الموجود في الثدييات حاليا ولكنه لم يكن معروفا في رباعيات الأرجل الديڤونية حتى درسنا الإكثيوستيگا. وجملة القول إن هذا الدليل الجديد يدل على أنه بدلا من الانحناء في المستوى الأفقي، كما يحدث في جسم السمكة، فإن جسم الإكثيوستيگا كان ينحني أساسا في مستوى رأسي، ولا يبدو أن الطرفين الخلفيين اللذين يشبهان المجاديف قد أسهما بالكثير في الدفع الأمامي في أثناء الحركة، ولكن الطرفين الأماميين الضخمين والكتفين العريضين قامت بذلك. وعلى ذلك ربما كانت الإكثيوستيگا تتحرك على الأرض أكثر شبها بالفقمة برفع ظهرها أولا، ثم بالتقدم بطرفيها الأماميين في الوقت نفسه، وأخيرا بسحب بقية جسمها للأمام.

في الشهر 9، قمت و<البرك> و <هننك بلوم> [من جامعة أوپسالا] بنشر ورقة علمية تتضمن تفاصيل ذلك في مجلة *Nature*. وإذا كنا على صواب فإن الإكثيوستيگا تعتبر أول الفقاريات المسجلة التي تبدي بعض التكيفات للحركة غير السباحية. ومن المستحيل أن نقول بكل تأكيد ماذا كانت تفعل الإكثيوستيگا على الشاطئ، ربما كانت تأكل الأسماك الملقاة على الشاطئ ولكنها كانت تتكاثر في الماء، وفي هذه الحالة ربما استخدمت أذنها المتخصصة للإنصات لأزواجها المحتملة (يستدعي هذا السيناريو أن الإكثيوستيگا كانت تحدث ضجيجا وتنصت إليه). والبديل الآخر أن الإكثيوستيگا كانت تأكل في الماء وتتنصت على الفرائس هناك فيما كانت تستخدم طرفيها الأماميين في حفر أعشاش للبيض على اليابسة: ومع ذلك فإن تصميم جسمها الفريد حُكم عليه بالإخفاق في النهاية، حيث لا توجد أحافير متأخرة عن 360 مليون سنة يمكن نسبتها بكل ثقة إلى نسل الإكثيوستيگا. لا شك أن هناك الكثير من التصاميم التي خلفتها خلال مراحل تطور رباعيات الأرجل المبكرة. وسوف تكون هناك حاجة إلى مزيد من الدراسة لتأكيد هذه الأفكار، إلا أن البيانات الأخيرة تثبت أن رباعيات الأرجل الديڤونية كانت أكثر تنوعا عما كان مقبولا من قبل. نحن نتعلم توقع المزيد من هذه المفاجآت عندما تصبح هذه الحيوانات معروفة بدرجة أفضل.

إذا امتلكت أرجلاً، أمكنك الترحال(*)

لقد أدت الأحافير التي اكتُشفت على مدى العقدين السابقين إلى أكثر من السماح للعلماء بتتبع الكثير من التغيرات في هيكل رباعيات الأرجل، إذ إنها قدمت بصائر حديثة لمتى تطورت هذه المخلوقات

(*) Have Legs, Will Travel

وأين. نحن حاليا متأكدون بدرجة معقولة أن رباعيات الأرجل قد نشأت قبل 380 إلى 375 سنة في العصر الديفوني الأوسط المتأخر، وهو مدى تاريخي أكثر إحكاما مما افترضه الباحثون سابقا، كما قررنا أن الممثلين المبكرين لهذه المجموعة كانوا منتشرين في جميع أنحاء العالم.

كانت رباعيات الأرجل الديفونية منتشرة في أنحاء العالم تمتد من مواقع هي حاليا الصين وأستراليا، وهي التي ظهرت فيها مخلوقات تعرف باسم «سينوستيگا» *Sinostega* و«ميتاكسيگناثوس» *Metaxygnathus* على الترتيب، إلى شرقي الولايات المتحدة، حيث تم العثور على عظم الساعد من «رِدْ هِلْ» وحيوان يسمى «هينربيتون» *Hynerpeton*. وبوضع مناطق الأحافير على خريطة زمنية قديمة نجد أن هذه الحيوانات استوطنت جميع المناطق المدارية وشبه المدارية لقارة عظمى تتضمن لوراسيا Laurasia في الشمال وگوندوانا Gondwana في الجنوب. إن توزيعها وانتشارها في جميع المناخات الدافئة تقريبا يعتبر ميثاقا على مدى نجاح هذه المخلقات.

أقامت رباعيات الأرجل الديفونية في مدى واسع من البيئات في هذه المواقع. وتشير الترسيبات في شرقي گرينلاند، وهي التي كانت الأولى في تقديم هذه المخلوقات، إلى أن المنطقة في وقت ما كانت حوضا لنهر عريض تسوده فيضانات دورية تتبادل مع ظروف أكثر جفافا. لقد كان النهر في الأصل نهرا للمياه العذبة بلا جدال، ولذلك شكَّل الأساس في الحكمة المتلقاة عن البيئات التي تطورت فيها رباعيات الأرجل، إلا أن اكتشاف مخلوقات مثل «فنتاستيگا» *Ventastega* و«تيوليربيتون» *Tulerpeton* في ترسيبات تمثل أمكنة ذات درجات ملوحة مختلفة أدى إلى الارتياب في حقيقة هذا الأمر. لقد أثبت موقع رِدْ هِل في پنسلڤانيا أنه غني بصفة خاصة في تقديم قرينة لرباعيات الأرجل بوجود أنواع كثيرة من الأسماك واللافقاريات والنباتات. ومثل ترسيبات شرقي گرينلاند، هو يمثل حوض نهر. إضافة إلى ذلك، توحي الدراسات البيئية القديمة بأن مناخ المنطقة كان معتدلا بدلا من الظروف البيئية المرتبطة بمكتشفات گرينلاند. وبمعنى آخر، إن رباعيات الأرجل المبكرة ربما كانت حتى أكثر انتشارا مما كنا نعتقد.

مهمّة لم تكتمل(*)

مازال أمامنا الكثير لنتعلمه عن التغيرات التشريحية التي صاحبت نشأة رباعيات الأرجل، فمع أن لدينا فرضية معقولة عن لماذا تطور حزام الكتف والطرفان الأماميان بهذه الطريقة، ينقصنا تفسير ملائم لنشأة معقد الطرفين الخلفيين القوي ـ وهو السمة المميزة لرباعيات الأرجل ـ لعدم تضمّن أي من الأحافير المكتشفة حتى الآن تفسيرا لها باستثناء عينات من الإكثيوستيگا والأكانثوستيگا التي تحتفظ بهذا الجزء من التشريح. وفي كلا الحيوانين يبدو الطرفان الخلفيان حَسَني التكوين لدرجة يصعب معها إظهار كيفية اتخاذهما هذا الشكل. ومن المؤكد أنه لا يوجد سيناريو واحد يفسر جميع مراحل التحول. ونريد أيضا أن نحصل على صورة أكثر وضوحا عن ترتيب التغيرات التي حدثت في الهيكل؛ مثلا، متى تطور الطرفان الخلفيان بالنسبة إلى الطرفين الأماميين والأذن.

سوف يؤدي اكتشاف المزيد من الأحافير إلى إزالة بعض هذا الغموض، وكذلك تفعل التبصرات في البيولوجية التكوينية التطورية. وعند هذا الحد تبدأ دراسات ميكانيكية التحكم الوراثي التي تحكم تكوين منطقة الخياشيم في الأسماك ومنطقة العنق في الثدييات والطيور، بتقديم تلميحات عن العمليات التي تميز كلا من رباعيات الأرجل والأسماك وأيها تتفرد به رباعيات الأرجل. وعلى سبيل المثال، إننا نعرف أن رباعيات الأرجل فقدت جميع العظام التي تحمي الخياشيم في الأسماك، إلا أن الجينات التي تحكم تكوينها مازالت موجودة في الفئران، حيث تؤدي وظائفها بطريقة مختلفة. كما أننا تأكدنا أن المسارات الكيميائية الحيوية التي تشرف على تكوين الأطراف ـ في منطقة العنق قد انهارت. ومع أن علماء البيولوجيا يستطيعون بسهولة حث نمو أطراف إضافية على خاصرة رباعي الأرجل، إلا أن ذلك لا يمكن إحداثه في منطقة العنق. وعندما طورت رباعيات الأرجل عُنقا لها، حدث ما يمنع الأطراف من النمو هناك.

وهناك أسئلة أخرى نجد صعوبة أكثر في الإجابة عنها. وقد يكون شيئا رائعا أن نعرف أي واحد من السياقات البيئية الكثيرة التي ظهرت فيها أحافير رباعيات الأرجل، عزز الأفراد الأولى لهذه المجموعة (إن الدليل المتاح يشير فقط إلى أن هذه الحيوانات لم تظهر أول مرة في مواقع بحرية بالضبط). ونود أيضا أن ندرك تماما الضغوط التطورية التي كانت تعمل في أثناء كل مرحلة من مراحل التحول. ولعدم توافر سجل أحفوري جيد أو إمكان الاستعانة بآلة زمنية، فربما لن نتمكن أبدا من لملمة أجزاء اللغز المحير لتطور رباعيات الأرجل معا. ولكننا بالعمل المستمر يمكننا أن نتوقع سد الكثير من الثغرات المتبقية في قصة كيف اكتسبت الأسماكُ الأرضَ اليابسة. ■

(*) Unfinished Business

المؤلفة

Jennifer A - Clack

أستاذة قارئة في علم أحافير (إحاثة) الفقاريات، وقد حصلت على الدكتوراه في العلوم من جامعة كمبردج. وتتركز أبحاثها على أصول رباعيات الأرجل منذ 25 عاما. وهي زميلة للجمعية الليننية.

مراجع للاستزادة

Gaining Ground: The Origin and Evolution of Tetrapods. Jennifer A. Clack. Indiana University Press, 2002.

The Emergence of Early Tetrapods. Jennifer A. Clack in *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* (in press).

Scientific American, December 2005

الترجمة الآلية مازالت هدفا بعيد المنال[*]

تبعث الطرائق الإحصائية الأمل بانتشال الترجمة الآلية من الدوامة.

<G.> ستكس

أسطورة الصوديوم نيبال آسيا: الأسد، الساحرة، خزانة ملابس الروح الشريرة «تفتقر أصلا الروح الشريرة تمتنع عن الثلاثية» غني بالنكهة الشاعرية والفنية، ولم تسمح أيضا «بود هارلي» القصة المتسلسلة لديها المسرة اللامنتهية التيار التحتي سيكون إعصاريا.

إن الهراء في الفقرة السابقة ما هو إلا ترجمة من الصينية إلى الإنكليزية أجريت باستخدام Altavista's Babelfish وهو مُترجم آليّ شائع الاستخدام، تستضيفه آلتافيستا على شبكة الإنترنت. وبلغة إنكليزية متماسكة، وُضعت، باللغتين الصينية والانكليزية في موقع صحيفة *China Post* التايوانية على الوب، تُقرأ هذه الفقرة على النحو التالي:

> إن «سجلات نارنيا» لا تداني، من حيث رؤيتها الشعرية، ثلاثية «سيِّد الخواتم» ولا تُضمر الخفايا المظلمة التي تجعل سلسلة «هاري پوتّر» ساحرة بلا حدود.

توضح هذه الفقرة أن الترجمة الآلية أو MT، كما يُرمز إليها أحيانا، هي من أكثر فروع حقل الذكاء الاصطناعي[1] تخلفا، على ما يجابه هذا الحقل من مصاعب كأداء، إذ يكفي ورود اسم علم في النص، أو بضع عبارات مُصاغة بعناية، لتضليل برمجيات الترجمة الآلية بصورة تامة. ومع ذلك، فخلال السنوات القليلة الماضية، أدخلت مقاربةٌ بحثية جديدة الحياةَ ثانية في أوصال الترجمة الآلية: إذ يقدِّر مطورو برمجيات الترجمة الآلية أن طرائق القوّة الساحقة في الحوسبة[2] ـ وهي طرائق لتحديد احتمال مطابقة كلمة أو عبارة ما في إحدى اللغات لكلمة أو عبارة في لغة أخرى ـ ستُقرِّب، في آخر المطاف، الترجمة الآلية من الأداء البشري.

أصعب من لعبة الشطرنج[**]

إن التزايد المستمر في قدرات العتاد الحاسوبي (الكيان الصلب) والخوارزميات البرمجية اليوم قد مكّن الحاسوب من التفوق على أساطين الشطرنج. ولنتذكّر انتصار حاسوب شركة IBM الفائق supercomputer المدعو Deep Blue على <G. كاسپاروف> عام 1997. لكن، بصورة عامة، فإن الترجمة الآلية لم تشهد إلا تقدما متقطعا خلال سنيّها الخمسين ـ بل إن بعض النقّاد يرون سماحة لا تستحقها الترجمة الآلية حتى في هذا التشخيص.

ففي عام 1954 استعرضت الشركة IBM وجامعة جورج تاون ترجمة ما يفوق ستّين جملة من اللغة الروسية إلى اللغة الإنكليزية. وذكر البيان الصحفي الذي أصدرته الشركة IBM بتاريخ 1954/1/8، باعتزاز: «تمت اليوم لأول مرة ترجمة اللغة الروسية إلى الإنكليزية بوساطة دماغ إلكتروني.» وترقّبت الجهات العسكرية كما توقع علميّو الحوسبة استخدام الترجمة الآلية على نحو روتيني خلال خمس سنوات، لكن لم تتحقّق توقعاتهم.

وفي عام 1966 أعلنت اللجنة الاستشارية لمعالجة اللغة الآليّة، التي تدعمها حكومة الولايات المتحدة، أنّ الإنسان قادر على القيام بالترجمة على نحو أسرع وأدقّ وبنصف التكلفة التي تقتضيها الترجمة الآلية. واختتمت الدراسة بالقول: «في المنظور المباشر أو المتوقع ليس هناك من أمل بالوصول إلى ترجمة آلية ذات فائدة.»

ومن ثم شحّت الموارد المالية المخصصة لأبحاث الترجمة الآلية ولم يتحقق سوى تقدّم متواضع خلال العقود التالية. وفي أواخر الستينات دعمت القوات الجويّة الأمريكية شركة صغيرة تدعى سيستران Systran صممت مُترجما آليّا ـ استُخدمت نسخته المتوافرة على الإنترنت في ترجمة الفقرة الأولى الواردة في مطلع هذه المقالة ـ للتعامل على نحو أوليّ مع الكم الهائل من الوثائق الروسية المطلوب ترجمتها إلى الإنكليزية حينذاك.

ويرتكز مُترجم الشركة سيستران إلى قواعد حول اللغة الأصل[3] واللغة الهدف[4] باللغة المنشودة، كما هي الحال في منظومةُ الدماغ، الأصلية التي وضعتها الشركة IBM، مستندة إلى ست قواعد بدائية تحكم **النحو** syntax و**الدلالة** semantics وما شابه. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تترجم الكلمة "o" بالروسية من قبل حاسوب 701 إلى اللغة الإنكليزية بالكلمتين "of" أو "about". فإذا تلت الكلمة "o" الكلمة "*nauka*" أي (العلم أو "science" بالإنكليزية)، فإن الحاسوب يبحث عن القاعدة المناسبة التي تشير عليه بترجمة "o" إلى "of" بالإنكليزية ـ أي إن العبارة الروسية "nauka o" تترجم إلى الإنكليزية "science of" بدلا من "science about".

تعتبر الشركة سيستران، التي تتخذ باريس مقرا لها، أكبر شركة للترجمة الآلية في العالم. ومع أن لائحة زبائنها تضمّ گوگل Google و ياهو Yahoo و AOL التي تمتلكها الشركة تايم وارنر Time Warner، فإن عائداتها السنوية لم تتجاوز 13 مليون دولار عام 2004 ـ وهذا ضمن سوق للترجمة بفروعها تُقدّر قيمتها الإجمالية في كافّة أنحاء العالم بعشر بلايين دولار سنويا. ويقول <D. ساباتاكاكيس> [رئيس مجلس إدارة سيستران ومديرها]: «إننا صغار جدا، لكننا الأكبر.»

(*) THE ELUSIVE GOAL OF MACHINE TRANSLATION
(**) Tougher Than Chess
(1) artificial intelligence
(2) brute-force computing methods
(3) source
(4) target



لا مزيد من القواعد[*]

يجهد الخبراء واللغويون العاملون في منظومات الترجمة الآلية المستندة إلى القواعد، لصياغة معاجم ضخمة وقواعد تتعلق بالجوانب النحويّة والدلاليّة لتوليد نصٍّ مترجم إلى اللغة الهدف. وتتضمن المنظومات التي باتت متوافرة في الأسواق عشرات الآلاف من قواعد النحو لمجموعة تضم مئات الآلاف من الكلمات.

وابتداء من أواخر عام 1980 وَضعت الشركة IBM منظومة للترجمة من الفرنسية إلى الإنكليزية سميّت كانديد Candide لا تتطلب معرفة لا **بالقواعد** grammar ولا **بالنحو** syntax. وقد تجنبت المنظومة تبنّي القواعد مفضِّلةً النظر إلى نصوص مترجمة، ومطابقة الكلمات بين اللغتين (تقوم المنظومات الأكثر حداثة باستخدام عبارات كاملة بدلا من مجرد كلمات) وتستنبط في نهاية المطاف احتمالات ـ استنادا إلى نظريّة بايز Bayes ـ لتقدير ما إذا كانت كلمة إنكليزية توفّر ترجمة صحيحة للكلمة التي تقابلها بالفرنسية.

وقد توجّهت مقاربة أخرى، اقتصرت على تحليل عدد كبير من النصوص باللغة الإنكليزية، لتقدير ما إذا كانت الكلمة التي تُرجِمت إلى الإنكليزية تتناسب من حيث قواعد اللغة مع ما يحيط بها من كلمات، بحيث يمكن استخدام الكلمة أو العبارة التي تمتلك الاحتمال الأكبر، من حيث تناسبها مع ما يحيط بها من كلمات، في «فكّ رموز» أو ترجمة النصوص مستقبلا ـ ومن ثم ضمّ الكلمات المترجمة الواحدة مع الأخرى لبناء وثائق مكتملة. فإذا أظهرت الإحصاءات أن الكلمة *pouderie*، مثلا، تقابل اعتياديا كلمة «**ثلج هبّاب**» blowing snow فإن هذا يعتبر، من حيث المبدأ، غاية الأرب.

وقد توقفت الشركة IBM في نهاية المطاف عن متابعة جهودها في هذا المضمار. ففي أواخر التسعينات كانت ترجمة صفحة واحدة فقط تستغرق يوما كاملا. لكن الظروف أخذت بالتحوّل بعدئذ. فقد ولّدت شبكة الإنترنت نموا سريعا في النصوص الضّخمة التي وضعت بلغتين. كما فرضت الإنترنت الحاجة إلى الترجمة على نحو لم يكن من المستطاع تلبيتها على الإطلاق من قبل البشر.

وفي عام 1999 عقدت المؤسسة الوطنية للعلوم (NSF) ورشة عمل في جامعة جونز هوپكنز استهدفت الوصول إلى مجموعة من الأدوات البرمجية التي يمكن تعميمها ضمن المجتمع العلمي. وقد اجتذب هذا الحدث الاهتمام وحفّز نشاطا جديدا في مضمار الترجمة الآلية. وفي عام 2002 أسّس واحد من المشاركين في ورشة العمل هذه، وهو <K. نايت> [من الجامعة U.C.S.] مع <D. ماركو> [من الجامعة ذاتها] شركة أسموها لانگويج ويڤر Language Weaver (أو نسّاج اللغة)، وهي الشركة الوحيدة للترجمة الإحصائية. وتدّعي هذه الشركة حاليا أن بإمكانها ترجمة 5000 كلمة في الدقيقة من الإنكليزية إلى العربية والفارسية والفرنسية والصينية والإسبانية، وبالعكس.

گوگل رابحة[**]

وظّفت گوگل <F. أوك> وهو أحد المشاركين في ورشة العمل المذكورة آنفا وخريج الجامعة U.C.S. وفي صيف عام 2005، تفوّقت منظومة گوگل التي صمّمها <أوك> والتي كانت وقتها في الطور التجريبيّ، على منافساتها، كالمنظومة التي وضعتها الشركة IBM، لتربح الجوائز في جميع الفئات التي تضمنتها مسابقة نظّمها المعهد الوطنيّ للمعايير والتقانة، لترجمة مئة برقية من برقيات الأنباء من العربية أو الصّينية إلى الإنكليزية. وقد ذكر <أوك> أن إدخال نصوص تقابل في مجموعها مضمون مليون كتاب إلى برمجيات الترجمة الآلية كان مفتاحا لتحسين الأداء. ويقابل <أوك> أداء منظومة الترجمة الآلية، التي تستخدمها گوگل (سيستران) حاليا، بالمنظومة التجريبية التي صاغها هو وزملاؤه.

منظومة گوگل/سيستران:
«الطبيب يشير، إن النواة البرّاقة تعيد التنظيم تستعيد عافيتها الـ تقريبا شهر واحد.»

منظومة گوگل التجريبية: «صرّح الأطباء أن <أكيهيتو> ملزَم ببرنامج من الراحة يستغرق قرابة شهر.»

لقد وضع الاهتمام الذي ولّدته الترجمة الآلية الإحصائية سيستران في موقع دفاعيّ. ويعلّق <ساباتاكاكيس> بالقول «إنّك تحتاج إلى قواعد عند تعلّمك لغة أجنبية ما، ولا يتعلم المرء لغة بالطرق الإحصائية وحدها.» ويقول ساباتاكاكيس إن سيستران تستخدم طرقا إحصائية عندما تطور منظومات للترجمة الآلية للعمل ضمن حقول ضيّقة، مثلا، من أجل ترجمة وثائق براءات الاختراع. لكن تبنّي طرق إحصائية على الصورة التي يتبعها حاليا فريق <أوك> يكاد أن يكون تقنية للتسويق. ومازالت الشركة تستخدم خمسين موظفا في البحث والتطوير، من بينهم لُغويّون. ويتابع <ساباتاكاكيس> «إن الفرق الرئيسي بين سيستران وگوگل هو ادعاء

(*) No More Rules
(**) Google Is a Winner

ترجمة آلية إحصائية(*)

أثبتت الطرق الإحصائية كفاءة تفوق ما لغيرها من طرق الترجمة الآلية المؤتمتة التي تستند إلى قواعد صاغها المترجمون البشر.

وتستغل الطرق الجديدة للترجمة الآلية القوة الهائلة التي تمتلكها الحواسيب حاليا، فتحلل بسرعة فائقة نصوصا مترجمة أصلا لتحدد الاحتمال أن كلمة أو عبارة في اللغة الواحدة تطابق نظيرة لها في اللغة الأخرى.

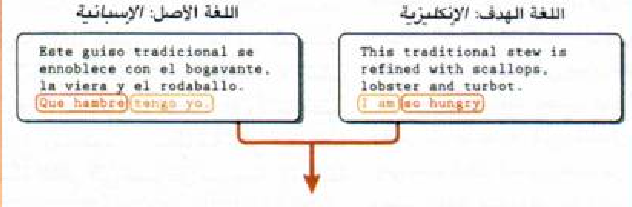
إدخال نصوص تمت ترجمتها سابقا
تشكل النصوص المترجمة أصلا من مصادر عديدة أساسا للترجمات المؤتمتة.



معالجة مُسبقة preprocessing يتم مسح النصوص ومقابلتها وإصاغتها (فرمتتها) formatted.



نموذج اللغة
انطلاقا من التحليلات الإحصائية المجراة على نصوص وضعت فقط بالإنكليزية، يسعى نموذج للغة إلى التنبؤ بترتيب الكلمات والعبارات الأكثر احتمالا في النص المترجم أصلا. ويشير التواتر الأكبر لورود عبارة ما إلى احتمال صحتها.

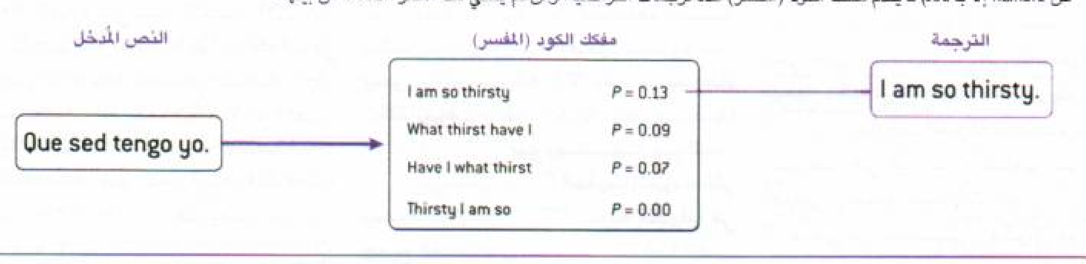


مطابقة العبارات في النصوص المترجمة
ينتقي نموذج الترجمة عبارتين اسميتين أو ثلاثا من لغة المصدر (وهي الإسبانية في هذا المثال) تطابق اللغة الهدف (الإنكليزية).



نموذج الترجمة
بوساطة استخدام الطرق الإحصائية لقياس كم من المرات وأين تظهر الكلمات في عبارة ما في اللغتين يشتق نموذج الترجمة نمطا لإعادة ترتيب الكلمات. ويستغل النموذج أيضا تقنيات أخرى، كاختزال عدة كلمات بالإسبانية لتقابل كلمة مترجمة واحدة (غير معروضة).

مفكك الكود (المفسِّر) عندما يتم إدخال جملة جديدة وتختلف قليلا أو كثيرا عن النص الذي تمت معالجته (هنا لا يمكن الاستعاضة عن hambre إلا بـ sed) ـ يقدم مفكك الكود (المفسر) عدة ترجمات افتراضية، ومن ثم ينتقي تلك الأكثر احتمالا من بينها.

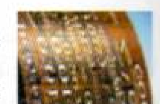


(*) Statistical Machine Translation

الأخيرة أنها لا تحتاج إلى الصينيين أصلا لتطوير تطبيقات صينية بفضل السحر والجمال اللذين يميزان منظومتها.» ويضيف «إن لم نعمل مع بعض خبراء اللغة الصينية، فإن منظومتنا قد تحتوي أخطاء جسيمة.»

إن الحدود التي تميز الفريقين أحدهما من الآخر قد بدأت تفقد وضوحها، لأن الباحثين في مضمار الترجمة الآلية الإحصائية قد بدؤوا بإدخال تقنيات تأخذ بالاعتبار البنية النحوية للجملة. وتتجاوز هذه الأساليب تدخّل خبراء اللغة؛ فيمكن لنموذج نحويّ أن يقدّر احتمال الحاجة إلى إعادة ترتيب عبارة مؤلّفة من اسم وصفة عند ترجمتها من الإنكليزية إلى الفرنسية. ويقول <نايت> [من شركة لانكويج ويفر]: «إن الاعتماد على عبارات بدلا من كلمات مُنفردة يسمح للطرق الإحصائية أن تعالج الجوانب النحويّة، بحيث تتجنّب ترجمة اسمه، على سبيل المثال، عندما يرد ضمن نص ما، بـ«الفارس.»

وتضمّ مؤسسة أبحاث مايكروسوفت مجموعة كبيرة من الإخصائيين في اللغات الطبيعية، عملت خلال الأعوام الست الماضية في مضمار الترجمة الآلية. في البدء، تركز اهتمام هذه المجموعة على المنظومات المستندة إلى القواعد[1]. لكنها تستخدم التقنيات الإحصائية في أعمالها بصورة متزايدة. وقد استخدمت مايكروسوفت المقاربات الإحصائية بالدرجة الأولى عندما قامت قبل فترة وجيزة بترجمة مواقع خدمات الزبائن إلى اثنتي عشرة لغة، من ضمنها الروسية والعربية والصينية، ولم يتم تحرير النص بعد الترجمة. ويلْحظ <ريتشاردسون> [الباحث الرئيسي في وحدة معالجة اللغة الطبيعية] «لابد من الاعتراف بأن بعض أجزاء النص المترجم مستهجن، لكن هناك أجزاء أخرى جيدة للغاية.» ويضيف «إن النص المترجم باستخدام المقاربة الإحصائية يُقارن، بل ربما بدأ يفوق، المستوى الذي وصلت إليه المنظومات القاعديّة التي كنا نستخدمها في الماضي.»



هل يمكن للترجمة الآلية أن تقدم ما يفوق مجرد فكرة تقريبيّة عن محتوى نصٍّ وُضع بلغة أجنبيّة؟

فهم لب الموضوع(*)

على أية حال، فإن جميع هذه التقنيات تطرح التساؤل حول ما إذا كانت الترجمة الآلية ستهزم الإنسان في مهنة الترجمة التي استأثر بها حتى الآن مضاهية ما قام به ديپ بلو Deep Blue حاسوب الشركة IBM، الذي صُمِّم ليلعب الشطرنج. فهل تستطيع الآلة أن توفّر ما يفوق مجرد فهم لبّ نصٍّ وُضع بلغة أجنبية، أو مجرد تكوين فكرة عامة عن مضمونه؟ يقول <K. هندزل> وهو متحدث باسم رابطة المترجمين الأمريكيين: «إن التفاؤل الراهن لا يعدو كونه استمرارا لعقود من الادعاءات المبالغ بها، والمرتكزة، مثلا، على فكرة «ترجمة آلية كليا ومتفوقة النوعية»، التي يُرَمّزها الإخصائيون بالأحرف الأولى من العبارة المقابلة باللغة الإنكليزية: fully automatic high-quality translation، أو اختصارا FAHQT. ويضيف <هندزل> قائلا: «إن فهم فكرة النص، الذي يمكن للترجمة الآلية أن تقدمه، يساعد على التعامل مع كميات هائلة من النصوص الأجنبية، مادام المرء قد أدرك أن الناتج غير موثوق، من حيث المضمون.» فالترجمة التقريبية محفوفة بالمخاطر. ويورد على سبيل المثال ترجمة من العربية إلى الإنكليزية تذكر «اشتباكا» بين جانبين، مما استثار اهتمام موظفي الأمن. لكن النص كان يشير إلى لعبة لكرة القدم، وليس إلى هجوم إرهابيّ أو معركة وشيكة.

ويلحظ <K. دڤلن> [المدير التنفيذي لمركز جامعة ستانفورد لدراسات اللغة والمعلومات] أن الترجمة الآلية لن تضاهي أبدا ما يمكن أن يقوم به اللغويّ من البشر. ويضيف <دڤلن> «إن استخدام التقنيات الإحصائية، المصحوب بالمُعالِجات السريعة والذاكرة السريعة الكبيرة السعة، يعني أننا سنشهد منظومات للترجمة تستطيع العمل بصورة مقبولة في العديد من الظروف، إلا أن الترجمة السلسة التي يمكن للإنسان الخبير القيام بها، فهي في نظري أمر لا يمكن للآلة تحقيقه.»

ويعارض <نايت> [الرائد في مضمار الترجمة الإحصائية] هذه النظرة ويشير إلى التقدّم الذي تم إحرازه خلال هذا العقد. وهو لا يَتوقّع حدودا لما يمكن أن تحرزه التقانة، التي ستتوصل حسب اعتقاده إلى ترجمة من مستوى يضاهي ما يقوم به الإنسان لجميع النصوص، ربما باستثناء النصوص الشعرية. وقد عرض <نايت> نماذج غير معلّمة لترجمات قام بها مترجمون من البشر إلى جانب ترجمات آلية فالتبس على المستمعين التفريق بين هذين النوعين من النصوص. ويقول <نايت> «دعونا لا نخدع أنفسنا ـ هنالك الكثير من الأخطاء في الترجمات التي يقوم بها المترجم البشري. ومستوى هذه الترجمات ليس بالجودة التي قد يتخيلها المرء.» ولكن لكي يبرهن الرواد في حقل الترجمة الإحصائية أن ترويجهم للمجموعة الراهنة من أدوات الترجمة الآلية يتجاوز حملة المبيعات المعتادة، لابد أن يبينوا أن أدواتهم هذه تحقق الآن فكرة «الترجمة الآلية كليا من نوعية متفوقة.» وعندئذ فقط ستتجاوز التقانة، كما يعبّر <ريتشاردسون> من شركة مايكروسوفت، مجرد «وعود بتحقيق الترجمة الآليّة.» ■

(*) العنوان الأصلي: Getting the Gist
(1) rule-based systems أو المنظومات القاعدية.

مراجع للاستزادة

The History of Machine Translation in a Nutshell. Online at John Hutchins's Web site: **http://ourworld.compuserve.com/homepages/WJHutchins/nutshell.htm**

A Statistical MT Tutorial Workbook. Kevin Knight. Online at **www.isi.edu/natural-language/mt/wkbk.rtf**

The Candide System for Machine Translation. Adam L. Berger et al. Online at **http://acl.ldc.upenn.edu/H/H94/H94-1028.pdf**

Scientific American, March 2006

العلم وراء لعبة سودوكو(*)

لا يتطلب حلُّ إحدى أحجيات لعبة سودوكو الاستعانة بعلم الرياضيات، ولا حتى بعلم الحساب. ومع ذلك، تطرح هذه اللعبة عددا من المسائل الرياضياتية المثيرة.

<J .P. ديلاهاي>

قد يتوقع المرء أنّ لعبة تتطلب استعمال المنطق، لا تستهوي سوى عدد جدّ قليل من الناس - ربما كانوا رياضياتيين أو من هواة الحواسيب أو من المقامرين المحترفين. بيد أن لعبة سودوكو Sudoku اكتسبت خلال مدة قصيرة جدا شعبية استثنائية، مذكّرة بالهوس الذي أثاره مكعب رُوبِكْ Rubik's cube في مطلع الثمانينات من القرن الماضي.

وخلافا لمكعب روبك الثلاثي الأبعاد، فإن أحجيةَ سودوكو شبكةٌ مستوية مربّعةُ الشكل. تحوي، نموذجيا، 81 خلية (تسعة أسطر وتسعة أعمدة)، ثم إنها مقسمة إلى تسعة مربعات جزئية، يتضمن كل منها تسع خلايا، سنسمّيها **شبكات جزئية** subgrids. وتبتدئ اللعبة بأعداد مطبوعة في بعض الخلايا، وعلى اللاعب ملء الخلايا الفارغة الأخرى بأعداد من 1 إلى 9، بحيث لا يظهر رقمٌ مرتين في نفس السطر أو العمود أو الشبكة الجزئية. ولكل أحجية حل وحيد.

ومع أن لعبة سودوكو لعبةُ أعداد، من المثير للعجب أنه لا يحتاج من يحاول حلها إلى أيِّ قدْر من الرياضيات. وفي الحقيقة، لا تساعد أيٌّ من العمليات الحسابية - من ضمنها الجمع أو الضرب - على إتمام شبكة ما، إذ إن كل ما هو مطلوب، نظريا، ملء الشبكة بأي مجموعة من تسعة رموز مختلفة (حروف، ألوان، أيقونات، وهلم جرا). ومع ذلك، تطرح سودوكو على الرياضياتيين وعلماء الحاسوب مجموعة من المسائل التي تتسم بالتحدي.

شجرة العائلة(**)

بيد أن ثمة شيئا صار معروفا: ألا وهو جذور اللعبة. فَسَلَفُ سودوكو، ليس كما يُظَنّ على نطاق واسع، المربعَ السحريَّ - وهو مصفوفة تتصف بأن لجميع الأعداد الصحيحة، الموجودة في أيِّ سطر وأيِّ عمود وأيِّ قطرٍ من المصفوفة، المجموع نفسه. وفي الحقيقة، فإذا استثنينا الأعداد والشبكة، فلا وجود تقريبا لشيء يربط سودوكو بالمربع السحري - لكن ما هو وثيق الصلة بسودوكو هو المربع اللاتيني(1) [*انظر الإطار في الصفحة 24*].

والمربعُ اللاتينيُّ من المرتبة(2) n هو مصفوفة مكونة من n^2 خلية (n خلية في كل جانب) مملوءة برموزٍ عددها n، بحيث لا يظهر الرمز نفسه مرتين في السطر نفسه أو في العمود نفسه (وهكذا يُستعمل كل واحد من هذه الرموز n مرّة بالضبط). ويعود أصل هذه الشبكات إلى القرون الوسطى؛ وفي وقت لاحق، سماها عالم الرياضيات <L. أولر> (1707-1783) المربعات اللاتينية، وانكبّ على دراستها.

تشبه لعبة سودوكو العادية مربعا لاتينيا من المرتبة التاسعة، ولا تختلف عنه إلاّ بمتطلب إضافي هو أن تحوي كلُّ شبكة جزئية الأعداد من 1 إلى 9. وكان الظهور الأول لهذه اللعبة في عدد الشهر 1979/5 من المجلة *Dell Pencil Puzzles and Word Games*. وفي بحث أجراه <W. شُورْتْز> [المشرف على زاوية الكلمات المتقاطعة في مجلة *New York Times*] ذكر أن مبتكر هذه اللعبة هو مهندسٌ معماريٌّ متقاعد اسمه <H. گارنز>. وقد مات <گارنز> في إنديانابوليس - والروايات مختلفة في تاريخ وفاته، إذ إن بعضها يذكر أنه توفي عام 1989 وبعضها الآخر عام 1981 - وحدثت وفاته قبل أن يشهد النجاح العالميَّ لاكتشافه بمدة طويلة.

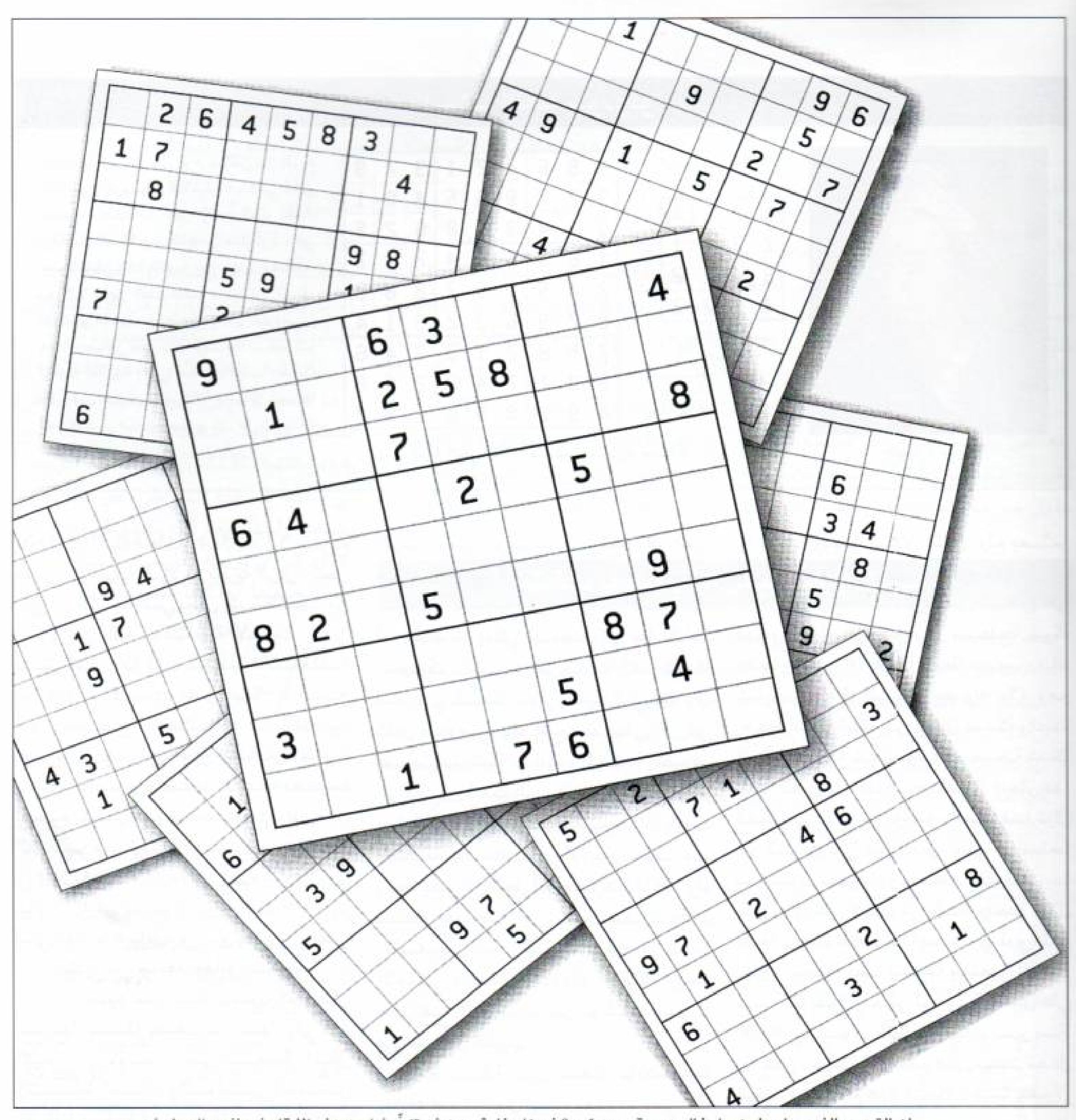
وقد انتقلت اللعبةُ، التي نُشِرَتْ في المجلة *Dell* بعنوان «موقع عدد»(3)، إلى مجلة يابانية عام 1984، أطلقت عليها، في النهاية، اسم «سودوكو» Sudoku، الذي هو ترجمة غير دقيقة لـ«أعداد مفردة»(4). هذا وقد أدخلت المجلةُ الاسمَ «سودوكو» في سجل العلامات التجارية، لكنّ محبي التقليد في اليابان أطلقوا عليها اسم «موقع العدد». بعد ذلك، وفي مفارقة أخرى تتصل بسودوكو، سمّى اليابانيون الأحجية باسمها الإنكليزي، وأطلق عليها المتكلمون بالإنكليزية اسمها اليابانيَّ.

وتعزو سودوكو الفضل في نجاحها

(*) THE SCIENCE BEHIND SUDOKU
(**) Family Tree
(***) Overview/ Scientific Sudoku
(1) Latin square
(2) order
(3) number place
(4) single numbers

نظرة إجمالية/ الجانب العلمي في لعبة سودوكو(***)

- سودوكو هي أكثر من مجرد لعبة منطق مسلّية، فهي، إضافة إلى ذلك، تطرح على الرياضياتيين مجموعة واسعة من المسائل العميقة.
- تتضمن هذه المسائل ما يلي: كم شبكة سودوكو يمكن تكوينها؟ ما هو أصغر قدر من أعداد البدء التي تسمح بحل وحيد؟ هل تنتمي سودوكو إلى صنف المسائل الصعبة التي يُطلق عليها اسم المسائل التامة NP.
- توصل خبراء الأحجيات إلى مجموعة من الأساليب تساعد على حل أحجيات سودوكو وإلى أشكال مختلفة مسلية من هذه اللعبة.



إن التحدي الذي يواجهك هو إدخال عدد يقع بين 1 و 9 في كل خلية، دون أن تكرِّر أيا من هذه الأرقام في نفس السطر أو العمود أو الشبكة الجزئية (المربع 3x3). إن حلول أحجية سودوكو المتوسطة الصعوبة، المعروضة في *وسط هذه الصفحة*، وكذلك حلول الأحجيات الأخرى الواردة في هذه المقالة، موجودة في الموقع www.sciam.com، وفيه أيضا أحجيات إضافية.

اللاحق إلى <W. كولد> ـ وهو قاض متقاعد من هونگ كونگ يهوى المشي والتجوال ـ كان اطّلع على اللعبة مصادفة خلال زيارة قام بها إلى اليابان عام 1997، وكتب برنامجا حاسوبيا يولِّد شبكات سودوكو بطريقة آلية. وفي أواخر عام 2004 قبلت صحيفة *التايمز* اللندنية اقتراحه بنشر أحجيات فيها. وفي الشهر 2005/1، حذت صحيفة *Daily Telegraph* حذوها. ومنذ ذلك الحين شرعت عدة دستات من الصحف اليوميّة، التي تصدر في جميع أنحاء العالم، في نشر هذه اللعبة، حتى إن بعض الصحف صار يشير إليها على صفحة غلافها لتعزيز ترويجها. وقد برزت مجلات وكتب مخصصة لهذه الأحجية المسلية، وخُصِّصَتْ لها مسابقات ومواقع على الوِب Web.

شبكات بعدد الكائنات البشرية(*)

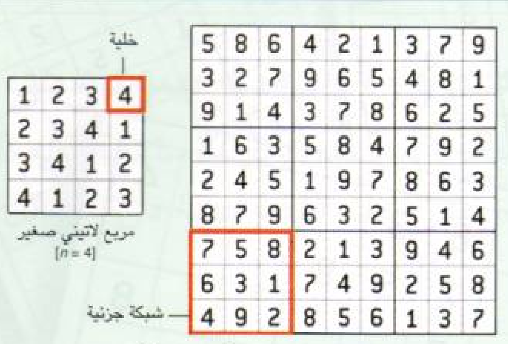
لم يتأخر الرياضياتيون بالشروع في طرح مسألة «كم عدد»(1) شبكات لعبة سودوكو. فمثلا، طرحوا بسرعة السؤال عن عدد الشبكات المملوءة بطريقة صحيحة، وسموها «شبكات الحل»(2). وبالطبع، فإن هذا العدد يجب أن يكون أصغر من عدد المربعات اللاتينية، وذلك بسبب التقييدات الإضافية المفروضة على الشبكات الجزئيّة.

يوجد 12 مربعا لاتينيا فقط من المرتبة 3 و 576 من المرتبة 4، لكنْ هناك

(*) As Many Grids as Humans
(1) how many
(2) solution grids

أسلاف اللعبة سودوكو(*)

شبكة سودوكو هي نوع خاص من المربع اللاتيني. المربعات اللاتينية ـ التي أطْلَقَ عليها اسمَها ‹L. أولر› [أحدُ كبار علماء رياضيات القرن الثامن عشر] ـ هي مصفوفات nxn مملوءة بـ n عددا مختلفا، بحيث لا يظهر العدد نفسه مرتين في السطر نفسه أو العمود نفسه. والمربعان المعروضان هما مثالان على ذلك. وشبكة سودوكو المكمَّلة المألوفة [التي تسمى، أيضا، شبكة حل] هي مربع لاتيني9x9 يحقق شرطا إضافيا، هو أن يَحوي كلٌّ من شبكاته الجزئية التسع الأرقام من 1 إلى 9.



5	8	6	4	2	1	3	7	9
3	2	7	9	6	5	4	8	1
9	1	4	3	7	8	6	2	5
1	6	3	5	8	4	7	9	2
2	4	5	1	9	7	8	6	3
8	7	9	6	3	2	5	1	4
7	5	8	2	1	3	9	4	6
6	3	1	7	4	9	2	5	8
4	9	2	8	5	6	1	3	7

1	2	3	4
2	3	4	1
3	4	1	2
4	1	2	3

مربع لاتيني صغير [n = 4]

مربع لاتيني، يمثل أيضا شبكةَ سودوكو مُكمَّلة [n = 9]

‹ليونارد أولر›

5,524,751,496,156,842,531,225,600 مربع لاتيني من المرتبة 9. إلا أن نظرية الزمر[1] تنص على أن الشبكة التي يمكن اشتقاقها من أخرى هي مكافئة للشبكة الأصلية. فعلى سبيل المثال، إذا قُمْتَ منهجيا بالاستعاضة عن كل عدد بعدد آخر (مثلا: 1 أصبح 2 و2 أصبح 7، وهكذا)، أو إذا بادلت بين سطرين أو عمودين، فإن النتائج النهائية ستكون بالضرورة نفسها. لذا فإذا أحصينا الصيغ المختزلة فقط، أصبح عدد المربعات اللاتينية من المرتبة التاسعة مساويا 377,597,570,964,258,816. وهذه نتيجة وردت عام 1975 في كتاب *Discrete Mathematics*، الذي ألفه ‹E .S. بامِلّ› و‹J. روثْستاين› [اللذان كانا حينذاك في جامعة أوهايو الحكوميّة].

أما تحديد عدد شبكات سودوكو الممكن تشكيلها، فمسألة يصعب جدا حلها. وفي هذه الأيام، فإن الاقتصار على استعمال المنطق (لتبسيط المسألة) والحواسيب (لتفحص الإمكانات بطريقة منهجية)، يسمح بتقدير عدد شبكات حل سودوكو الصحيحة وهو 6,670,903,752,021,072,936,960. ويتضمن هذا العدد جميع تلك الشبكات التي اشْتُقَّتْ من أي شبكة خاصة باستعمال العمليات الابتدائية. هذا وإن صحة هذه النتيجة ـ التي توصّل إليها ‹B. فلكنهاور› [من جامعة درسدن التقنية بألمانيا] و‹F. جارفيس› [من جامعة شفيلد بإنكلترا] جرى تحققها عدة مرات. (التحقق مهم في الحالات التي يجري الحصول فيها على النتائج بهذه الطريقة.)

وإذا أحصينا مرة واحدة فقط تلك الشبكات التي يمكن اختزالها إلى تشكيلات متكافئة[2] تقلّصَ عددُها إلى 5,472,730,538 وهذا عدد أصغر قليلا من عدد سكان الأرض. وعلى الرغم من هذا الانخفاض، فمازال العدد كبيرا، وعلى المتحمسين لسودوكو ألاّ يخشوا أي نقص في الأحجيات.

لاحظ أنه يمكن التوصل إلى حلّ كامل لسودوكو بأكثر من طريقة أيا كانت شبكة البدء (أي الشبكة غير الكاملة التي لها حل كامل مفروض). ولم يفلح أحدٌ حتى الآن في تحديد عدد شبكات البدء المختلفة. يضاف إلى ذلك أن شبكة البدء في سودوكو لا تثير حقا اهتماما رياضياتيا إلا إذا كانت **أصغرية** minimal ـ أي إذا كان حذف عدد واحد يعني أن الحل لم يعد وحيدا. هذا ولم يستطع أحد حتى الآن، تعيين عدد الشبكات الأصغرية الممكنة، الذي قد يرقى إلى العدد الإجمالي لأحجيات سودوكو المختلفة. ويمثل تعيين هذا العدد تحديا من المؤكد التصدي له في المستقبل القريب.

ثمة مسألة أخرى تتعلق **بالأصغرية** minimality لم تحلّ أيضا بعد، ألا وهي: ما هو أصغر عدد من الأرقام التي يمكن لمصمم أحجية وضْعها في شبكة بدء، ويضمن مع ذلك، حلا وحيدا لها؟ يبدو أن الجواب هو 17. فقد جمَع ‹G. رُويْل› [من جامعة ويسترن ـ أستراليا] أكثر من 38 000 مثال يحقق هذا الشرط، بحيث لا يمكن الانتقال من واحد منها إلى آخر بإجراء العمليات الأولية.

وحاليا، يُجري ‹G. ماك كوير› [من جامعة إيرلندا الوطنية في ماي نوث] بحثا عن أحجية شبكةُ بدئها تحوي 16 عددا ولها حل وحيد؛ لكنْ حتى الآن لم يوفّق في مساعيه. ومن ناحية أخرى، تمكّن رويل وآخرون، يعمل كل منهم بمعزل عن الآخر، من إيجاد أحجية واحدة شبكة بدئها تحوي 16 عددا ولها حلان اثنان. ولم يعثر الباحثون حتى الآن على أمثلة إضافية.

تُرى، هل ثمة أحد قريب من البرهان على عدم وجود أحجية سودوكو صحيحة شبكة بدئها تحوي 16 عددا فقط؟ يجيب ‹ماك كوير› عن هذا السؤال بقوله: «لا». وهو يلاحظ أنه لو تمكّنا من تحليل شبكة واحدة كلَّ ثانية بحثا عن أحجية صحيحة شبكةُ بدئها تحوي 16 عددا، «فبمقدورنا إنجاز هذا العمل في 173 سنة. ولسوء الحظ، فما نزال غير قادرين على هذا العمل، حتى لو استعنّا بحاسوب سريع.» ويضيف: «قريبا، ربما يكون بالإمكان البحث في شبكة واحدة خلال دقيقة واحدة بالاستعانة بحاسوب قوي، لكن إجراء المحاولة بهذه السرعة يَستغرق 10 380 سنة». ثم يقول: «حتى لو وزعنا العمل على 10 000 حاسوب، لَتَطَلَّبَ إنجازه نحو سنة. لذا نحن بحاجة إلى تقدم هائل بحيث نجعل البحث في جميع هذه الشبكات شيئا مقبولا. فما نحتاج إليه إما تصغير فضاء البحث، وإما إيجاد خوارزمية للبحث أفضل بكثير.»

إن الرياضياتيين يعرفون فعلا حلّ عكس مسألة تحديد التعداد الأصغري لأعداد شبكة البدء، أي الإجابة عن السؤال: ما هو أكبر تعداد لأعداد شبكة البدء لا يضمن حلا وحيدا؟ الجواب هو 77. فبتعدادات مثل: 80، 79 أو 78 لمجموعات شبكات البدء، إذا وُجد حل، كان هذا الحل وحيدا. لكن هذا لا يمكن تأكيده عندما يكون تعداد الأعداد المفروضة 77 [*انظر الإطار في أسفل الصفحة* 28].

(*) Sudoku's Predecessors

(1) group theory

(2) أي إذا أحصينا عدد صفوف تكافؤ مجموعة الشبكات. (التحرير)

الحل بالاستعانة بالحواسيب[*]

مسألة أخرى: ما هو أصغر عدد من الأرقام التي يمكن وضعها في شبكة بدءٍ بحيث يكون الحل وحيدا؟

إضافة إلى الأسئلة المتعلقة بالتعداد، يفكر علماء الرياضيات والحاسوب مليًا فيما تَقْدِر ولا تَقْدِر، على فعله الحواسيب عندما يتعلق الأمر بحل أحجيات سودوكو أو توليدها. وفي أحجيات سودوكو المألوفة (9x9)، من السهل نسبيا كتابة برامج حاسوبية لحلّ جميع شبكات البدء الصحيحة.

يمكن للبرامج الحاسوبية استعمال عدة أساليب، لكن أكثرها انتشارا هو **النهج المعاكس** backtracking، وهو صيغة منهجية لطريقة المحاولة والخطأ، تسمح باقتراح حلول جزئية، ثم القيام بإجراء تعديلات طفيفة عليها حالَ اكتشاف خطأ هذه الحلول.

وطريقة عمل الخوارزمية الأساسية للنهج المعاكس هي كما يلي: يضع البرنامجُ العددَ 1 في أول خلية فارغة، فإذا كان هذا الخيار منسجما مع الأعداد الموجودة في الشبكة، انتقل إلى الخلية الفارغة الثانية التي يضع فيها العدد 1. وعندما يواجه **تعارضا** conflict (وهو ما يمكن حدوثه بسرعة كبيرة)، يمحو العددَ 1 الذي وضعه أخيرا، ويجرب 2 أو 3 إذا واجه 2 تعارضًا، وهكذا... وبعد وضع أول عدد ممكن (لا يواجه تعارضا)، ينتقل البرنامج إلى الخلية التالية، ويبدأ ثانية بالعدد 1.

وإذا كان العدد الذي يتعين تغييره 9 (وهو عدد لا يمكن أن يضاف إليه 1 في شبكات سودوكو المألوفة 9x9)، فإن البرنامج يقوم بالنهج المعاكس ويزيدُ العددَ الموجودَ في الخلية السابقة (التي تلي آخر عدد جرى وضعه) واحدًا. بعد ذلك يتقدم البرنامج إلى الأمام إلى أن يواجه تعارضا. (أحيانا، يتبع البرنامج نهجا معاكسا عدة مرات قبل التقدم إلى الأمام). وفي برنامج مكتوبٍ جيدا، يَستكشف هذا الأسلوب جميع الفرضيات الممكنة، وينتهي بالعثور على الحل، إن وُجِدَ حل فعلا. وإذا كانت هناك عدة حلول، كما يحدث في أحجية مغلوطة، فإن البرنامج يجدها جميعا.

وبالطبع، فإن التحسينات ممكنة، وهي تُسرِّعُ اكْتشاف الحلِّ الوحيد. ويسمّى أحد التحسينات المفضّلة: «التوليد المقيد»، الذي يعني أنه بعد وضع كل عدد جديد، يولِّد البرنامجُ قائمة بالأعداد الممكنة المتبقية في كل خلية فارغة، ولا يتعامل إلاّ مع الأعداد الواردة في القائمة.

يمكن **تكويد** encode تقنيات النهج المعاكس ببرنامج حلول قصيرة إلى حد ما. وفي الحقيقة، كُتِبَتْ برامجُ مختصرة للعبة سودوكو في Prolog، وهي لغة حاسوبيّة تَستعمل خوارزميّةَ نهج معاكس. وقد ابتكرت هذه اللغةَ في أواخر السبعينات بجامعة مارسيليا في فرنسا.

وفيما يتعلق بلاعبي سودوكو، فإن تقنيات النهج المعاكس، التي تطبقها البرامج الحاسوبية، غير عملية؛ لأنها تستلزم صبرا استثنائيا. لذا يَستعمل الناس قواعدَ أكثر تنوعا وبراعة، وهي أقرب ما تكون إلى أسلوب المحاولة والخطأ كملاذ أخير. وتحاول بعض البرامج تقليدَ الطرائق التي يسلكها الناسُ إلى حد ما؛ فمع أنها أطول

ما هو مقدار التخفيض الذي يمكنك تحقيقه؟[**]

يبدو أن أصغر عدد من الرموز التي يمكن لأحجية سودوكو 9x9 البدء بها، والتي توفر شبكةَ حل وحيدة، هو 17. ونبيِّن أدناه مثالا على ذلك. وإحدى الشبكات الخاصة الملوءة، التي ينعتها هواة سودوكو بأنها **مألوفة بصورة مستغربة** Strangely Familiar (SF)، تخفي 29 رقعة غير متكافئة، على كل منها 17 رمزا (عددا) ابتدائيا ـ وهذا عدد كَبُرَهُ غير عادي. وقد اعتُبِرتْ الشبكات SF في وقت سابق أنها أكثر الشبكات احتمالا لتصميم أحجية ذات 16 رمزا ابتدائيا، ولها حل وحيد، لكنّ بحثا مستفيضا عنها خيَّبَ هذا الأمل. ونبيِّن أدناه أحجية سودوكو الوحيدة التي تنطلق من 16 رمزا (عددا)، والتي لها حلان فقط. ونرى في الشبكات الجزئية النهائية تبادلا بين الأعداد 8 والأعداد 9.

شبكة مألوفة بصورة مستغربة

6	3	9	2	4	1	7	8	5
2	8	4	7	6	5	1	9	3
5	1	7	9	8	3	6	2	4
1	2	3	8	5	7	9	4	6
7	9	6	4	3	2	8	5	1
4	5	8	6	1	9	2	3	7
3	4	2	1	7	8	5	6	9
8	6	1	5	9	4	3	7	2
9	7	5	3	2	6	4	1	8

أحجية عدد رموزها الابتدائية 17

	1							9
			3			8		
						6		
				1	2	4		
7		3						
5								
8			6					
				4			2	
			7				5	

... ولها حلان

5	6	2	3	8/9	9/8	4	7	1
8/9	4	9/8	7	1	6	2	5	3
1	3	7	4	2	5	8/9	9/8	6
3	5	8/9	1	9/8	4	6	2	7
9/8	7	4	2	6	3	1	8/9	5
2	1	6	8/9	5	7	3	4	9/8
6	9/8	1	5	4	2	7	3	8/9
7	2	5	6	3	8/9	9/8	1	4
4	8/9	3	9/8	7	1	5	6	2

أحجية عدد رموزها الابتدائية 16...

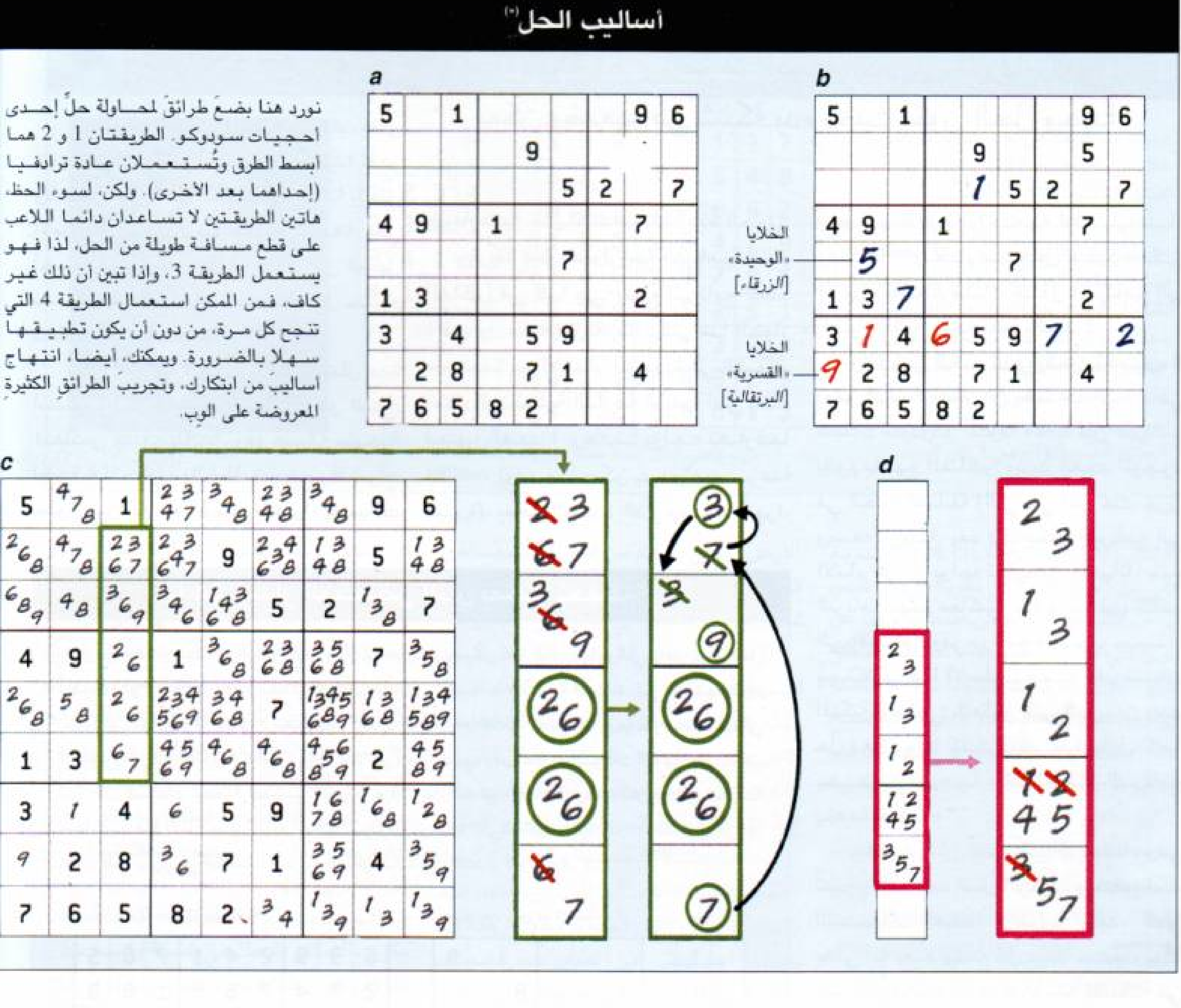
5		2				4		
			7	1				3
					4	6		
	7		2					
	1							
6					2			
				3			1	
4								

(*) Computer Solvers

(**) How Low Can You Go?

أساليب الحل(*)

نورد هنا بضعَ طرائقَ لمحاولة حلّ إحدى أحجيات سودوكو. الطريقتان 1 و 2 هما أبسط الطرق وتُستعملان عادة ترادفيا (إحداهما بعد الأخرى). ولكن، لسوء الحظ، هاتين الطريقتين لا تساعدان دائما اللاعب على قطع مسافة طويلة من الحل، لذا فهو يستعمل الطريقة 3، وإذا تبين أن ذلك غير كاف، فمن الممكن استعمال الطريقة 4 التي تنجح كل مرة، من دون أن يكون تطبيقها سهلا بالضرورة. ويمكنك، أيضا، انتهاج أساليبَ من ابتكارك، وتجريبَ الطرائقِ الكثيرة المعروضة على الوب.



من البرامج الأخرى، لكنها تعمل بنفس مستوى جودتها. هذا وإن البرامج التي تحاكي التفكير البشري مفيدة أيضا لتقييم تعقيد شبكاتِ البدء، التي تتدرج صعوبتها من شبكات «سهلة» (لا تتطلب سوى تكتيكات بسيطة)، إلى ما يُطلق عليها كثير من الناس اسمَ الشبكات «الشيطانية»(1) (بسبب حاجتها إلى تطبيق قواعد منطقية تُجهد أذهان مستعمليها).

إحدى الطرق التي يفكر في اتباعها علماء الحاسوب لحل أحجية سودوكو هي النظر إليها **كمسألة تلوين بيان**(2) graph-coloring problem، حيث لا يمكن أن يكون فيها لخليتين متجاورتين (تسميان أحيانا «رأسين مشتركين بحافة») اللون نفسه، والتي يكون فيها عدد الألوان المتاحة تسعة. ويحتوي الرسم، في هذه الحالة، على 81 **رأسا** vertex، بعضها ملون بداية. إن مسألة التلوين هي في واقع الأمر معقدة جدا لأن لكل شبكة 9x9 مئات من **الحافات** edges. فكل خلية هي جزء من سطر يحتوي ثمانيَ خلايا أخرى، ومن عمود يضم ثمانيَ خلايا أيضا، ومن شبكة جزئيّة تضمّ ثمانيَ خلايا (أربعة منها سبق حسابها في سطر الخلية وعمودها). لذا فإن كل خلية من الخلايا الإحدى والثمانين ترتبط بعشرين (8+8+4) خلية أخرى، وهذا يكوّن مجموعا ضخما من الخلايا قدره 1620 (أي 20 مضروبا في 81) خلية تشترك بحافة مع أحد جيرانها ــ وهذا يعني، بدوره، أن العدد الإجمالي للحافات هو 810 (أي 1620 مقسوما على 2).

وإمكان تحويل أحجيات لعبة سودوكو إلى مسألة تلوين، له دلالة عند العلماء، لأن هذه السِّمة تربط هذه الأحجيات بنوع من المسائل المهمة. ولا سيما فقد أثبت حديثا، <T. ياتو> و <T. سيتا> [من جامعة طوكيو] أن أحجية سودوكو تنتمي إلى طائفة المسائل التامة NP(3)، وهي من المسائل التي يُحتَمَل أن يستحيل حلّها في إطارٍ زمنيٍّ واقعيٍّ. ومن الأمثلة المشهورة عليها مسألة الألوان الثلاثة التي تدرس ما إذا كان بالإمكان تظليل كلّ **عقدة** node في بيان(2) بثلاثة ألوان، بحيث لا يكون لأي عقدتين مشتركتين بحافة واحدة اللون نفسه. وفي حالة سودوكو، من الواضح أن التحدي المستحيل هو تصميم برنامج فعّال يسمح بحلّ أحجية سودوكو من جميع الحجوم ــ أي عندما تكون الشبكة من الحجم $n^2 x n^2$، من دون أن تكون مقصورة على

(*) Solution Methods

(1) disbolical

(2) graph أو مبيان، وهو بنية بيانات لها عدد من العقد nodes وعدد من الحافات edges تربط أزواجا من هذه العقد.

(3) NP-complete problems، انظر: «حدود البحث عن سبب»، العلوم، العددان 4/3 (2006)، ص 11.

الطريقة 1

الخلية «القسرية»

يدرس هذا الأسلوب طريقة ملء خلية (بعدد). باستبعادك الأعداد الموجودة في سطر الخلية وعمودها وخليتها الجزئية، فترى ما إذا تبقّى احتمال واحد فقط. ويبيّن مثل هذا التحليل للشبكة a أن الصناديق الحاوية أعدادا برتقالية اللون في الشبكة b هي خلايا «قسرية».

الطريقة 2

الخلية «الوحيدة»

هنا يكون تركيزنا على قيمة مفروضة ولتكن، مثلا، العدد 5. العمودان واحد وثلاثة في الشبكة a يحويان خَمْسَتَيْنِ، لكنّ العمود الثاني لا يحوي 5 حتى الآن. تُرى، أين يجب أن تكون الخمسة في ذلك العمود؟ لن توجد في الخلايا الثلاثة الأولى من العمود الثاني، لأنها موجودة في شبكة جزئية تحوي 5. ولن توجد في الخلية السابعة من هذا العمود، لأن شبكتها الجزئية تحوي 5 أيضا. لذا فإن العدد 5 في العمود الثاني يجب أن يوجد إما في الخلية الرابعة أو الخامسة أو السادسة منه. ولما كانت الخلية الخامسة فقط هي الفارغة فيه، فإن هذا العدد يجب أن يوضع فيها. وهكذا فإن الخلايا المعلّمة بالأعداد الزرقاء في الشبكة b هي الخلايا «الوحيدة».

الطريقة 3

تبسيط مدى الإمكانات

هذه تقنيّة فعّالة جدا، لكنّها تتطلّب قلما وممحاة: في كلّ خلية، اكتبْ جميعَ الحلول الممكنة بخطٍّ صغيرٍ جدا، أو استعملْ نقاطا تمثل مواقعُها الأعدادَ من 1 إلى 9. طبق بعد ذلك المنطقَ لمحاولة حذف الخيارات.

فمثلا، تُبيِّن الشبكة c كيف تبدو الشبكة a إذا علّمْتَ من دون تفكير، من دون أن تُطَبِّقَ أولا الطريقتان 1 و 2. في العمود الثالث، يكون ترتيبُ إمكانات الخلايا الثانية والثالثة والرابعة والخامسة والسادسة، هو على التوالي: {7,6,3,2}، {8,6,3}، {2,6}، {2,6}، {7,6}. ويجب أن يحوي هذا العمود العدد 2 والعدد 6، لذا يجب أن يكون هذان العددان موجودين في الخليتين اللتين إمكاناتهما فقط العددان 2 و 6 الموجودان في الترتيب الأول {7,6,3,2}.

لذا فإن 2 و 6 لا يمكن أن يوجدا في أي مكان آخر في هذا العمود ويمكن استبعادهما من خلايا العمود الأخرى [الحمراء]. وهكذا يُبسَّطُ مدى الإمكانات لهذا العمود لتصبح {7,3}، {9,3}، {6,2}، {6,2}، {7}. لكن هذا ليس كل شيء. فتحديد موقع 7 يُملي بدوره موقعَ 3 وموقعَ 9 [الترتيب الثاني {9,3}]. والإمكانات الأخيرة هي: {3}، {9}، {6,2}، {6,2}، {7}. ويبقى ارتياب وحيد في معرفة أين يجب أن يكون موقعا 2 و 6.

والقاعدة العامة لتبسيط الإمكانات هي التالية: إذا وَجَدْتَ، ضمن مجموعة من الإمكانات [لسطر أو عمود أو خلية جزئية]، m خلية تحتوي على مجموعة جزئية مؤلفة من m عددا فقط [لكن ليس من الضروري وجودها جميعا في كلّ خليّة]، فإن الأرقام الموجودة في المجموعة الجزئية يمكن استبعادها، بوصفها إمكانات، من الخلايا الأخرى في المجموعة التي هي أكبر منها. وعلى سبيل المثال، يمكن في d تبسيط الترتيب {3,2} ، {3,1}، {5,4,2,1}، {5,4}، {7,5} ليصبح {3,2}، {3,1}، {2,1}، {5,4}، {7,5} لأن الخلايا {3,2}، {3,1}، {2,1} تَنْتُجُ جميعُها من المجموعة الجزئية {3,2,1} وليس فيها أعداد أخرى.

الطريقة 4

طريقة المحاولة والخطا

بتطبيق الطرائق 1، 2، 3 يُمكن حل كثيرٍ من شبكات سودوكو. لكن شبكات سودوكو من المستوى الشيطاني، تتطلب غالبا جولة من المحاولة والخطا. وحين يستمر الارتياب، فإنك تقوم باختيارٍ عشوائي، وتطبِّقُ استراتيجياتك كما لو كانت هي القرار الصحيح. فإذا اصطدمتَ باستحالة [كَأنْ تَصلَ إلى عددين متطابقين في عمود واحد]، كان اختيارُك غيرَ سليم. فمثلا، قد تجربُ 2 في الخلية الرابعة من العمود الثالث في الشبكة c. فإذا لم ينجح، بدأْتَ ثانية من نقطة البدء نفسها، لكنْ بتجربة العدد 6 في تلك الخلية.

ولسوء الحظ، يتعيّن عليك أحيانا القيامُ بعدة جولات من المحاولة والخطا، وعليك أن تكون مستعدا لتطبيق النَهج المعاكس إذا كان تخمينُك غيرَ صحيح. وفي الحقيقة، فإنّ الفكرة الكامنة في طريقة المحاولة والخطا، هي الفكرة نفسها التي تستعملُها خوارزمياتُ النهج المعاكس، التي يمكن للحواسيب تطبيقُها بسهولة، لكنها تسبب إرهاقا لأدمغة الناس. ومن المثير للعجب أن تكون الطرائقُ، التي أثبتت أنها أكثر الطرائق فعالية لآلة، هي الأقلّ فعاليّة للكائنات البشرية.

الحجم المألوف (9x9) $3^2 \times 3^2$. ومن المرجح أن لن ينجح أيّ برنامجٍ لحلّ هذه الأحجيات نجاحا حقيقيّا، لأن الزمن اللازم لإيجاد الحل يتزايد تزايدا دراميا مع تزايد n.

وإذا كان لديك خوارزمية تحلّ أحجيات سودوكو المعهودة، فيمكنك استعمالها للحصول على خوارزمية لتصميم تلك الأحجيات المتعلقة بسودوكو من جميع الحجوم. وفي الحقيقة، فمع أن الأحجيات كانت تُصَمَّمُ في بدايات عهدها يدويًّا، فإن جميعها تقريبا يُنَفَّذ في هذه الأيام ببرامج حاسوبية استنادا إلى الطريقة التالية أو إلى ما يشبهها: توضع الأعداد عشوائيا على رقعة الشبكة وتُطبَّق خوارزميةُ حلّ (النهج المعاكس، مثلا). فإذا كان للأحجية حل وحيد، توقف البرنامج. وإذا لم يكن للمسألة المكمِّلة جزئيًا حلٌّ، حُذِفَ عددٌ واحد من التشكيل الابتدائي، واستُهلَّ البرنامجُ ثانية. وإذا كان للأحجية حلول مختلفة، اختير أحدُها، وعندئذ تضيف الخوارزميةُ القدرَ اللازمَ من الأعداد إلى أعداد البدء للتوثق من وحدانية الحل المختار.

استراتيجيات بشرية(*)

يمكن للهواة الذين يستمتعون بحل أحجيات سودوكو يدويًّا أن يختاروا من بين الكثير من التكتيكات، بيد أن ثمة أسلوبين أساسيين يوفران نقطة بدء مقبولة. أولهما البحث عن أكثر الخلايا الفارغة تقييدا، وهي تلك التي تنتمي إلى سطر مملوء جيدا أو عمود مملوء جيدا أو شبكة جزئية مملوءة جيدا. وأحيانا، يقودك حذف المستحيلات (الأعداد التي تملأ الخلايا في نفس السطر أو العمود أو الشبكة الجزئية) إلى اكتشاف العدد الوحيد الملائم لخلية معينة. وعلى أيِّ حال، يجب أن يسهمَ هذا الأسلوبُ في تضييقٍ شديد للخيارات.

الأسلوبُ الثاني هو البحث عن المكان الملائم لقيمة مفروضة في عمود معين أو سطرٍ معيّن أو شبكة جزئية معينة (مثلا، ابْحثْ عن الأمكنة الوحيدة التي قد تكون ملائمة للعدد 3 في السطر الرابع). وأحيانا، يكون لهذا البحث إجابة وحيدة ممكنة. وفي أحيان أخرى، فإن مجرد معرفة

(*) Human Strategies

يمكن تحويل أحجيات لعبة سودوكو إلى مسألة تلوين تربط هذه اللعبة بنوع من المسائل الرياضياتية المهمة.

تغيرات في أحد المواضيع(*)

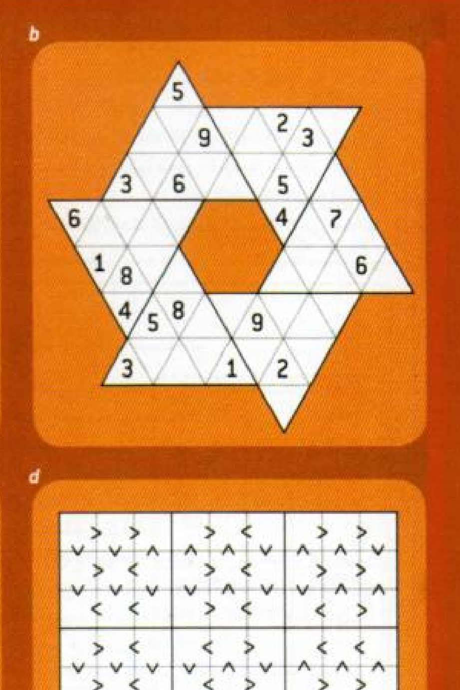
هل ثمة حاجة إلى شيء أكثر من شبكات شيطانية؟ في الأحجيات الواردة هنا يمكن تطبيق القواعد العادية، مع بعض التغييرات. ففي a تحلّ حروف الكلمتين GRAND TIME محلّ الأعداد، ويُستعاض عن الشبكات الجزئية المربعة بأشكال هندسية أخرى. مبتكر هذه الشبكة يسميها أحجية Du-Sum-Oh.

وفي b، التي تحوي ست شبكات جزئية مثلثة الشكل، من الممكن تقاطع الأسطر والأعمدة المائلة في مركز الشكل، ثم إنه عندما يكون لسطر أو عمود ثماني خلايا فقط تقوم الخلية القريبة، التي تشكل رأسا «للنجمة»، مقام الخلية التاسعة. وفي c يكون للأعداد الثلاثة في الأسطر المعلّمة (بإشارتي + ، =) في الشبكتين الجزئيتين مجموعٌ يساوي العدد الموجود في الشبكة الجزئية الثالثة. وفي d، تدل إشارتا «أكبر من» و «أصغر من» على المواقع التي تنتمي إليها الأرقام. وفي e، يجب وضع أحجار الدومينو الموجودة في الأسفل في الأمكنة الفارغة. وفي f، تتراكب ثلاث رقع للّعب بعضها على بعض. وللاطلاع على الحلول ومزيد من اللّعب، قم بزيارة للموقع www.sciam.com

a

					N			
				I				
			T					R
		R					E	
	A					N		
M					D			
				R				
			A					
		G						

b



c

			+		9	= 6		
6		5		8				2
			+	4		=		9
	6	1	8	5			7	
	5		+			=	8	
	8			1	4	5	6	
5			+	9		=		
8				7		1		6
		7	+ 3			=		

d

أنّ العددَ 3 ليس ملائما إلاّ لموقعين معينين أو ثلاثة مواقع، هي معرفة مفيدة. ولمزيد من التفصيلات، *انظر الإطار في الصفحتين 26 و 27*. أيضا، قم بزيارة المواقع على الوِب المدرجة في «مراجع للاستزادة» للعثور على عدد من الاستراتيجيات لبعضها أسماء مثيرة مثل swordfish (سمك سيف البحر) و golden chain (السلسلة الذهبية).

وثمة عدد من البرامج الحاسوبية، التي يمكن العثور عليها بسهولة على الإنترنت، تولِّد رُقعا ذات درجة محدَّدة من الصعوبةِ، وتساعدك على إيجاد الحلول (ولكن، بالطبع، من دون أن تَحُلَّ الأحجية التي تسعى لحلها!). فمثلا، يسمح لك بعضها بوضع علامات مؤقتة في الخلايا ومحوها، وهذا يجعل القلم والممحاة غير ضروريين. حتى أن بعضها الآخر يمكّنك من إيجاد روابط بين الخلايا. فلا تُغفل هذه البرامج الحاسوبية، إذ بإعفائها لك من بعض الممارسات المملّة، مثل المحو، فهي تحثّك على مزيد من التفكير العميق والبراعة الفنية الفائقة في لعبةِ المنطق هذه.

وحال شعورك بالضجر والملل من أحجيات لعبة سودوكو المعهودة، يمكنك

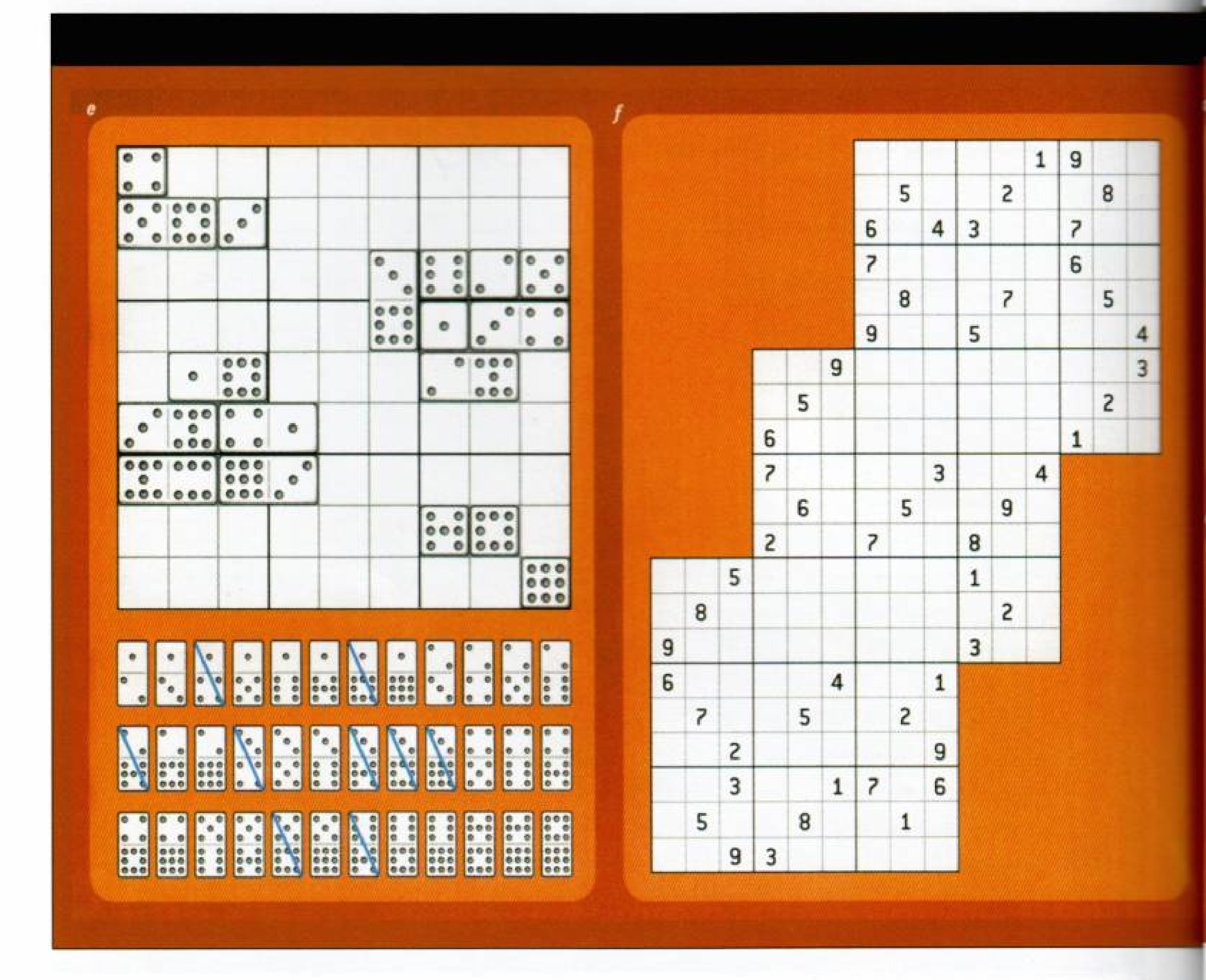
رموز قليلة جدا(**)

إن 77 رمزا لن تكفي بالضرورة لإيجاد حل وحيد. فمع وجود أربع فقط من الخلايا الفارغة فإن لهذه الشبكة حلين. هذا وإن العددين 1 و 2 غير الموجودين في أول عمودين من الشبكة قابلان للمبادلة.

		3	4	5	6	7	8	9
4	5	6	7	8	9	1	2	3
7	8	9	1	2	3	4	5	6
		4	3	9	8	5	6	7
8	6	5	2	7	1	3	9	4
9	3	7	6	4	5	8	1	2
3	4	1	8	6	2	9	7	5
5	7	2	9	1	4	6	3	8
6	9	8	5	3	7	2	4	1

1 2	2 1	3
4	5	6
7	8	9
2 1	1 2	4

Variations on a Theme (*)
Too Few Clues (**)



الانتقال إلى البحث عن أنمــاط مطــوَّرة لهذه اللـعبة لا تعدّ ولا تُحصى، بعضـها يحوي عدة شبكات متراكبة، وبعضها الآخر يستعيض عن الشبكات الجزئية، التي هي مربعة، بأخرى لها أشكال مـغـايرة؛ ومنها ما يفـرض تقـييدات إضافية. وستحظى هذه البدائل بإعجابك، ذلك أنها تجبرك على استكشاف استراتيجيات منطقــيــة جــديدة. يُضــافُ إلى ذلك أن المتحـمسين، الذين لا يُمضُون أكثر من ربع ساعة في حلّ أحجية معهودة، يقضون سحابة يومـهم كلّه في الاسـتـمـتـاع بجـمـع الخـلايا والأعداد لإنشاء نماذج ضخمة من أحجيات سـودوكـو. والآن يكفي مـا قـيل، ولننتـقل إلى الشبكة التالية! ■

(١) iterated prisoner's dilemma

(٢) complexity theory

(٣) Kolmogorov complexity

المؤلف

Jean - Paul Delahaye

أستاذ علوم الحاسوب في جامعة ليل للعلوم والتقانة بفرنسا، وباحث في مختبر ليل لعلوم الحاسوب [LIFT] التابع للمركز الوطني للأبحاث العلمية [CNRS]. تتركز أبحاثه على نظرية اللُّعَب الحاسوبية [مثل معضلة السجين المكررة(١)]، نظرية التعقد(٢) [مثل التعقد الكولموكروفي(٣)]، وتطبيقات هاتين النظريتين في التحليل الجينيّ، وحديثا في علم الاقتصاد. وهذه المقالة هي تفصيل لمقالة نشرها ديلاهاي في عدد الشهر 2005/12 من مجلة Pour la Science، وهي الترجمة الفرنسية لمجلة ساينتيفيك أمريكان.

مراجع للاستزادة

1st World Sudoku Championship: **www.wsc2006.com/eng/index.php**

Math Games. Ed Pegg, Jr.: **www.maa.org/editorial/mathgames/mathgames_09_05_05.html**

The Mathematics of Su Doku. Sourendu Gupta: **http://theory.tifr.res.in/~sgupta/sudoku/**

Mathematics of Sudoku. Tom Davis: **www.geometer.org/mathcircles**

SadMan Software Sudoku techniques: **www.simes.clara.co.uk/programs/sudokutechniques.htm**

Sudoku, an overview: **www.sudoku.com/howtosolve.htm**

Sudoku, from Wikipedia: **http://en.wikipedia.org/wiki/Sudoku**

A Variety of Sudoku Variants: **www.sudoku.com/forums/viewtopic.php?t=995**

Scientific American, June 2006

التغلب على مرض قاتل مفاجئ: أمهات الدم(*)

حينما شارفت سيدة شابة على الموت بسبب تمزق أم دم *aneurysm* لديها، بدأ الكاتب وزوج السيدة يبحثان عن طرق لإنقاذ مرضى أمهات الدم الآخرين من فاجعة قد تصيبهم.

<J. A. إلفتريادس>

كان أول سبت ربيعي جميل، وكنت فيه مسؤولا عن رعاية أطفالي. كنا خارج المنزل نستعرض المحلات القريبة من حديقتنا حينما اتصل بي <L. كوهن> [طبيب القلب الشهير وزميلي في جامعة ييل] وقد بدا مهتاجا جدا. أعرفه رجلا قليل الكلام، بيد أنه كان يتحدث بسرعة، وبطريقة تنم عن انفعال شديد. وسمعته يقول: «أنا بحاجة إليك يا <جون>. تعال إلى قسم الإسعاف، الآن الآن إنها تموت يا <جون> إنها تموت الآن أمامي.»

كانت الحالة شديدة الايلام؛ وكان <كوهن> يتابع وضع السيدة منذ ثلاث سنوات حين أتى زوجها ليدرِّس في جامعة ييل، وبذا أصبحت <C. كولمان> كأحد أعضاء الأسرة. كان عمرها 32 عاما وتعاني متلازمة مارفان Marfan[1]، وهي اضطراب في النسيج الضام يميل إلى أن يسبب أمهات الدم **الأبهرية** aortic الصدرية؛ وهي تضخمات خطرة في الجزء العلوي من الشريان الواسع الذي ينقل الدم من القلب، وينزل عابرا الصدر، ويصل إلى البطن. فإذا تُركت أمهات الدم دون علاج، فقد تكبر حتى تصل إلى **التمزق** rupture الذي يغلب أن يفضي إلى الموت. ويتمثل التدخل الوحيد في إجراء عملية وقائية يتم فيها وضع مكونات صنعية بدلا من المناطق المخربة. بيد أن لهذه الجراحة أخطارها الخاصة بها، ولذا يمتنع الأطباء عن اللجوء إليها إلى أن يحين وقت تبدو فيه ذات أهمية مطلقة. وبما أن الشريان الأبهر لدى <كارميلا> لم يكن قد توسع إلاّ قليلا، فإن <كوهن> لم ينصح باللجوء إلى الجراحة.

ومع ذلك، ففي صباح ذاك السبت حضرت <كارميلا> إلى قسم الطوارئ تشكو ألما شديدا في الصدر. وأظهر التصوير الطبقي المحوسب (CT) ومخطط صدى القلب **تسلخا** dissection أبهريا: لقد تسرب الدم عبر ثقب في الجزء الداخلي من جدار الشريان مسببا انفصال نصفه الداخلي عن نصفه الخارجي، وعلى امتداد الطول الكامل للوعاء الدموي. وقد يؤدي التسلخ وحده إلى الموت حينما يسبب تدفقا دمويا محصورا أو ممتدا؛ الأمر الذي يحرم القلب والأعضاء الأخرى من الأكسجين والغذيات الضرورية. ولكن هذا لم يكن أسوأ ما في قصة <كارميلا>. فلقد أشارت **التفاريس** scans إلى وجود دم في **التامور** pericardium لديها، وهو الكيس المحيط بالقلب. وهكذا فقد حصل التسلخ، وكانت تتحرك على غير هدى وقد فقدت وعيها، وهبط ضغطها، وأصيبت بصدمة. وظهرت الحاجة إلى إجراء عملية فورا.

تركتُ الأطفال مع أحد الجيران واندفعت إلى المستشفى. وهناك استبدلنا بالجزء الضعيف من أبهر <كارميلا> وعاء صنعيا من الداكرون، وهو نسيج يحاك على شكل أنبوب مرن ولكنه متين. كما وضعنا صماما آليا بدلا من الصمام الأبهري المتضرر الذي يتحكم في تدفق الدم حين مغادرته القلب. وبدت <كارميلا> ضعيفة جدا عقب العملية الجراحية، ولكنها تمسكت بالحياة وتحسنت باطراد.

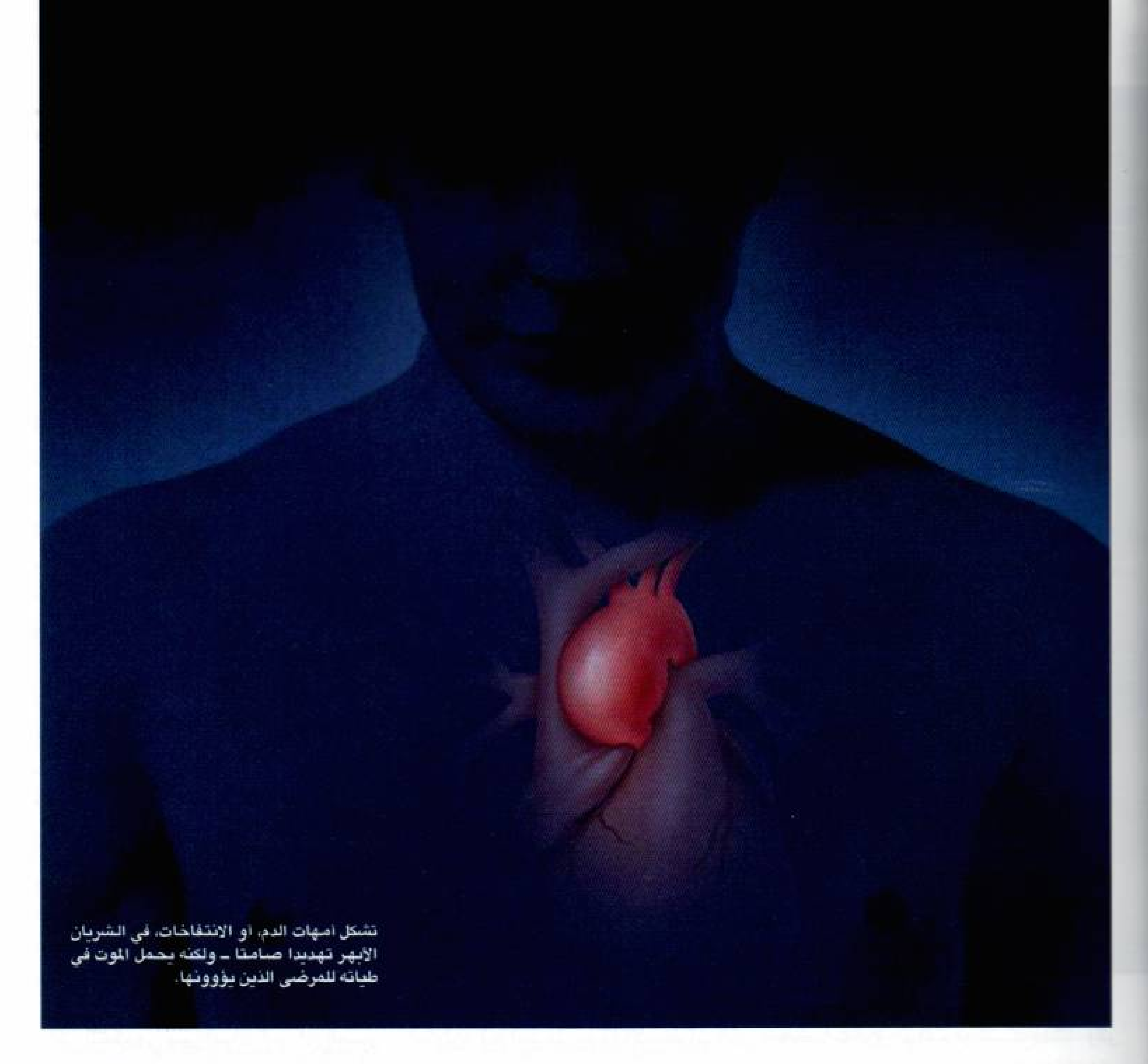
لقد تحدثت مع زوج كارميلا <J. بيزو> عن حالتها في جولاتي المسائية التي كنت أجريها كل ليلة. وحينما تحسن وضعها، وجدنا أن حوارنا يتحول نحو موضوعات علمية أكثر؛ وعلى وجه الخصوص المسائل المتعلقة بأمراض الشريان الأبهر.

وتبين أن <ريزو> كان اقتصاديا يعمل في قسم **الوبئيات** epidemiology في مدرسة الصحة العامة، وكان خبيرا في تحليل البيانات والإدارة. وقد أظهر اهتماما بالغا بعمل فريقي. وفي السنوات العشر الماضية ـ أي منذ بداية زيارات <كارميلا> إلى المستشفى ـ ساعدنا <ريزو> على تشكيل قاعدة بيانات تحوي سجلات مرضانا جميعهم المصابين بأمهات الدم الأبهرية الصدرية. ونتيجة لذلك، قمت وزملائي بحوسبة معلومات تخص أكثر من 3000 مريض مصاب بهذه الحالة، بما في ذلك نحو 9000 صورة و 9000 مريض ـ سنة من متابعة المرضى (حينما يجمع حاصل عملنا مع هؤلاء المرضى جميعا). ونحن لا نعلم بوجود قاعدة بيانات أضخم من هذه حول هذا الاضطراب.

وقد سمح لنا هذا المصدر السريري الشامل بمعرفة أوسع عن سلوك أمهات الدم

(*) BEATING A SUDDEN KILLER

(1) يعتقد أن هذا الخلل وراثي ويظهر على شكل تغيرات هيكلية أو مرض خلقي في القلب. (التحرير)



تشكل أمهات الدم، أو الانتفاخات، في الشريان الأبهر تهديدا صامتا ـ ولكنه يحمل الموت في طياته للمرضى الذين يؤوونها.

الأبهرية الصدرية؛ وعلى الخصوص سرعة نمائها، وكيفية تحديد الزمن الذي قد تصبح فيه حرجة، ومن هم الأكثر تعرضا لها. وساعدت هذه التبصرات الأطباء على تحديد الوقت الذي ينبغي لهم أن يتدخلوا فيه كي يتمكنوا من تجنب هذا النوع من الحوادث المفجعة، كالتي حلّت بـ<كارميلا> وأتت بها إلى قسم الإسعاف في صباح ذاك اليوم.

نظرة إجمالية/ أمهات الدم(*)

- لم يكن السريريون متأكدين عموما من الوقت الذي يجب فيه إجراء عملية لأم الدم الأبهرية ـ وهي انتفاخ في الشريان الكبير الذي يحمل الدم من القلب. وإذا ترك الأمر من دون معالجة، فقد تتمزق أم الدم أو تتسلخ على نحو قاتل نتيجة انخلاع الطبقة الداخلية للوعاء الدموي عن جداره. غير أن المداخلة الوحيدة المحققة، وهي الاستعاضة عن الأبهر المتضرر بأجزاء صنعية، هي في حد ذاتها خطرة.
- قادت التحليلات المفصلة لبيانسات آلاف المرضى إلى خطوط إرشادية نحو أفضل وقت لإجراء العملية.
- إن رافعي الأثقال المصابين بأمهات الدم هم على وجه الخصوص معرضون لخطر الموت الفجائي خلال التدريب، ويجب عليهم اتخاذ احتياطات خاصة.

الداء المتفشي خلسة(**)

ولأنني جراح قلب، أركز على الاضطرابات التي قد تؤذي القلب، كأمهات الدم الصدرية. ولكن بوسع أمهات الدم أن تنشأ في أي شريان. ويحدث عدد كبير منها في الأبهر السفلي أو البطني: أي القسم الذي يسير من **الحجاب** diaphragm إلى المنطقة فوق **الحوض** pelvis، حيث التفرعات الشريانية تحمل الدم إلى الساقين. وأظهرت الأبحاث التي أجراها باحثون آخرون أن الآليات التي تشكل أساس نماء أمهات الدم الأبهرية وتسلخها وتمزقها مشابهة للآليات

(*) Overview/ Aneurysms

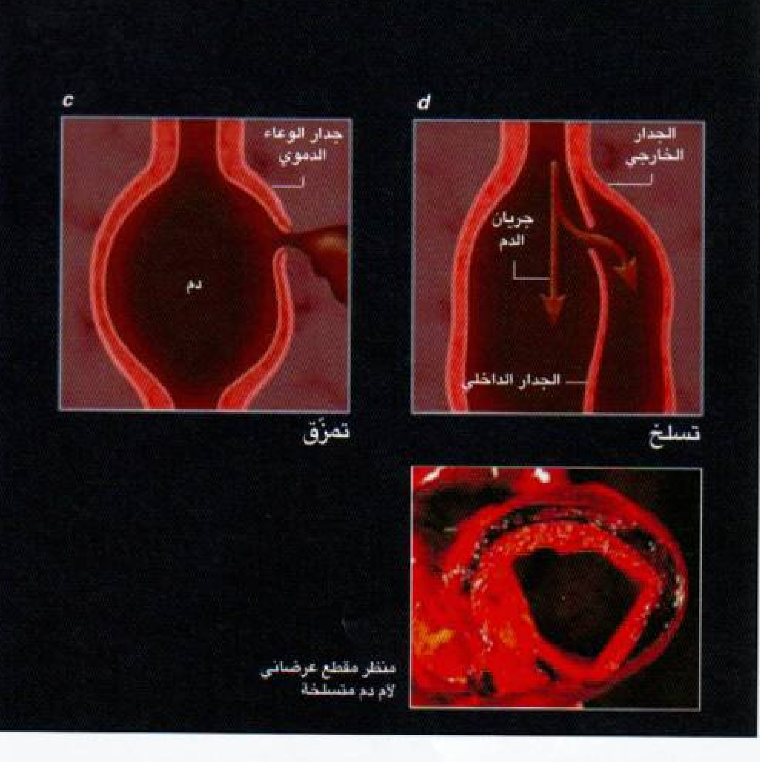
(**) Silent Stalker

مخاطر أمهات الدم(*)

يشبه الأبهر السليم [a] في شكله العصا، كما يشبه في اتساعه خرطوم ماء الحديقة. إن أم الدم، التي يمكن أن تحدث في أي مكان من الأنبوب، هي انتفاخ يبرز عن الجدار [b] ويترقق هذا ويضعف مع تضخم أم الدم. وقد تكون الحالة مميتة. إن تمزق النسيج [c] أو تسلخ [d والصورة]، أو إن حصل كلاهما. وينجم التسلخ، الذي هو انف
الأقسام الداخلية والخارجية لجدار الوعاء بعضها عن بعض
تسرب الدم إلى أواسط الجدار عبر شق في البطانة الداخلية
طريق تحليل آلاف الحالات، عرف المؤلف وزملاؤه كيفية توقع

b

امثلة عن
أمهات الدم



تمزّق

تسلخ

منظر مقطع عرضاني
لأم دم متسلخة

التي تتحكم في سير أمهات الدم في الصدر.

إن أمهات الدم التي تصيب الأبهر هي الأشد تهديدا للحياة. وفي كل عام يموت ما يزيد على 15 000 فرد في الولايات المتحدة نتيجة لانفجار أم الدم في الصدر أو البطن، أو نتيجة لتسلخها؛ وهو عدد يفوق عدد الذين يموتون بسبب الإيدز. وفي هذا المجال يُذكر أن <A. أينشتاين>، ونجم الكرة الطائرة الأولمبي <F. هيمان>، ولاعب كرة السلة <R. بيرس> [بجامعة فلوريدا الحكومية]، والممثلون <L. بول> و<C. G. سكوت> و<J. ريتر>، هؤلاء جميعا نحبهم بسبب أمهات الدم الأبهرية الصدرية. وإن الأفراد الذين يعانون متلازمة مارفان Marfan هم عرضة لها بصفة خاصة. وقد ذكر المؤرخون احتمال أن رئيس الولايات المتحدة <A. لنكولن> قد أصيب بهذا الاضطراب الذي كان مرضا يقتل معظم ضحاياه في عمر متوسط، وذلك قبل أن تصبح الجراحة أمرا متاحا. وهكذا، فمن المحتمل أن رئيسنا السادس عشر (لنكولن) ربما كان قد مات مبكرا لو لم يتم اغتياله.

تتصف أمهات الدم الأبهرية بالغدر إذ تتفشى بصمت واطراد. ويمكن للوعاء الدموي أن ينتفخ دون أن يسبب ألما. وفي الواقع، يتم اكتشاف وجود أم الدم لدى المرضى حين فحصهم لأمر آخر: فالطبيب قد يعثر على الانتفاخ المنذر بالخطر خلال فحص **بفائق الصوت** ultrasound لتحري نفخة قلبية أو أثناء إجراء **تصوير طبقي محوسب** CT scan للوقوف على سبب سعال مزمن. ويحدث الألم في الغالب حينما تتمزق أم الدم أو تتسلخ فقط، وهو شديد جدا ويصفه المرضى بأنه إحساس بتمزق يحدثه شيء كالسكين مرافق للنوبة، وهو أسوأ في درجته من ألم الولادة أو نوبات الحصيات الكلوية.

وإمكانية بقاء المريض حيا بعد هذا الحادث ضعيفة إلى حد ما. ويغلب أن تسبب التمزقات الوفاة فورا. ولكن هناك بعض الحالات التي يحالفها الحظ، وفيها تتمكن نسج مجاورة من الاحتشاد عند الشق في الأبهر والحفاظ على البنية زمنا يكفي وصول المريض إلى المستشفى. أما بالنسبة إلى التسلخات، فالبقاء على قيد الحياة يعتمد على الموقع. فإن تركت التسلخات التي تبدأ في الأبهر الصاعد ـ وهو **الشدفة** segment

(*) The Perils of Aneurysms

...تي يزداد فيه احتمال تمزق أم الدم أو تسلخها. ...يمكن لمثل هذه المعلومات أن تساعد على تقرير ...تي تتفوق الحاجة إلى جراحة تصحيحية على ...خاطر الكامنة في هذا الإجراء.

a

الأبهر الصاعد

الأبهر النازل

الأبهر البطني

الصادرة من القلب ـ دون معالجة، كانت قاتلة خلال ساعات أو أيام؛ إذ بوسع التشققات في هذه المنطقة أن تزحزح **الصمام الأبهري** aortic valve مؤدية إلى صدمة، أو ربما تغلق الشرايين الإكليلية مسببة هجمة قلبية. وليست التسلخات في الأبهر النازل على طول خلف الصدر مهددة بالقدر ذاته: فهي تتمزق على نحو أقل تواترا من تلك التي تحدث في الأبهر الصاعد، ولا تشترك الاثنتان في المضاعفات نفسها.

ويوسع الجراحة أن تمنع التمزق أو التسلخ، ولكن عملية استبدال الأبهر خطيرة جدا و**باضعة** invasive في إجراءاتها كلها. وتقتضي هذه العملية إيقاف القلب وتحويل الدم عبر آلة القلب ـ الرئة. واعتمادا على موقع أم الدم، يجب على الجراحين في بعض الحالات إغلاق تدفق الدم كليا وتبريد المريض من درجة 37 مئوية إلى درجة 18 مئوية لإبطاء الاستقلاب (الأيض) ومنع تخرب الدماغ خلال إصلاح الأبهر.

وللوقوف على ما إذا كان مثل هذا التدخل الخطر مضمون العواقب، يجب على الطبيب أن يعرف مقدار أرجحية تمزق أم الدم الأبهرية أو تسلخها. وبصفة عامة، إن أم الدم الضخمة أشد خطورة من أم الدم الصغيرة. غير أن المعلومات الدقيقة كانت مفقودة إلى حد كبير حينما وقعت <كارميلا> مريضة. ومع أن أكثر من 300 بحث كانت قد كتبت حول كيفية إجراء العملية على الأبهر، لم نجد إلا النزر اليسير من المعلومات المفيدة عن وضع أمهات الدم الأبهرية قبل الجراحة، وعلى الخصوص سرعة توسعها ورجحان انفجارها أو تمزقها في كل حجم. فمثلا، لقد تسلخ أبهر <كارميلا> حينما كان قطره 4.8 سنتيمتر، وهو قياس بسيط نسبيا، وكان ذلك سببا لعدم توقع وقوع الحدث. (يبلغ قطر الأبهر الصدري الطبيعي نمطيا بين 2.5 و3.5 سنتيمتر) وهكذا، رأينا أن طرح الأسئلة عن نمو أم الدم واستمراره، هو نقطة جيدة لانطلاق تحرياتنا.

بروز نقطة ابتداء(*)

ولتسهيل الحصول على هذه المعلومات من قاعدة بياناتنا، صمم <ريزو> في البدء طرائق إحصائية متطورة أتاحت لنا أن نحدد بدقة سرعة نمو أمهات الدم. لقد وجدنا أن معظمها ينمو ببطء مدهش لا توقف فيه يبلغ نحو 0.12 سنتيمتر سنويا. وعلى هذا، تستغرق أم الدم عموما عقدا من الزمن لتكبر سنتيمترا واحدا فقط. وتوحي هذه النتيجة بأن أمهات الدم المكتشفة في أواسط العمر لدى الكبار ربما بدأت بالنماء حينما كان المرضى في سن الشباب أو أبكر من ذلك.

وسمحت لنا طريقة إحصائية ابتكرها <ريزو> بتقدير احتمال تمزق، أو تسلخ، أمهات الدم الصدرية من قياسات مختلفة، وأدهشتنا دقة النتائج. واعتمادا على بياناتنا، يرتفع احتمال التمزق أو التسلخ ارتفاعا شديدا حينما تصل أم الدم في الأبهر الصاعد إلى قطر يبلغ نحو 6 سنتيمترات. وقد وجد أن ما يربو على 30 في المئة من المرضى الذين وصلت أمهات الدم لديهم إلى ذاك الحجم تعرضوا لمضاعفة مدمرة: إما التمزق أو التسلخ. وفي الأبهر النازل، تزداد الخطورة ازديادا مريعا حينما يبلغ قطره 7 سنتيمترات تقريبا.

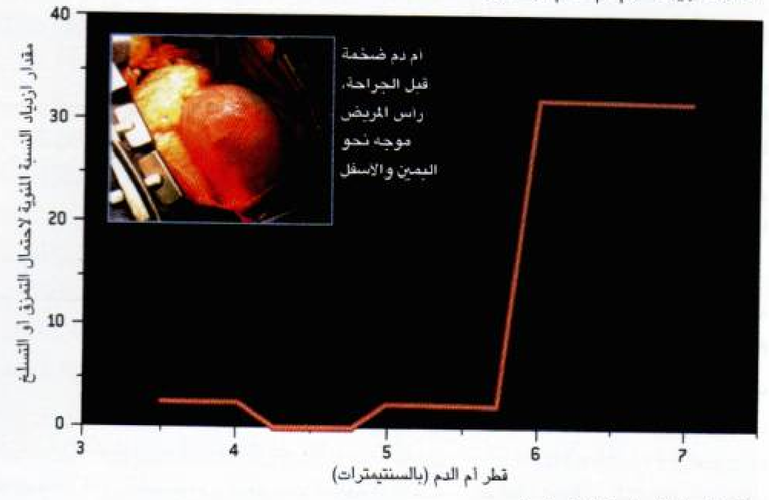
وتمثل هذه الأرقام خطر التعرض مدى الحياة لمضاعفة تمزق أم الدم من أي حجم أو تسلخها، مع أن الأرقام لا تشير إلى متى ستحدث الأزمة. غير أن المرضى الذين يكتشفون وجود أم دم لديهم هم الأكثر اهتماما بالأرقام التي تنبئ بالمعدل السنوي لحدوث المضاعفة؛ وبكلمات أخرى، ما إذا كانت أم الدم لديهم ستؤذيهم في المستقبل القريب.

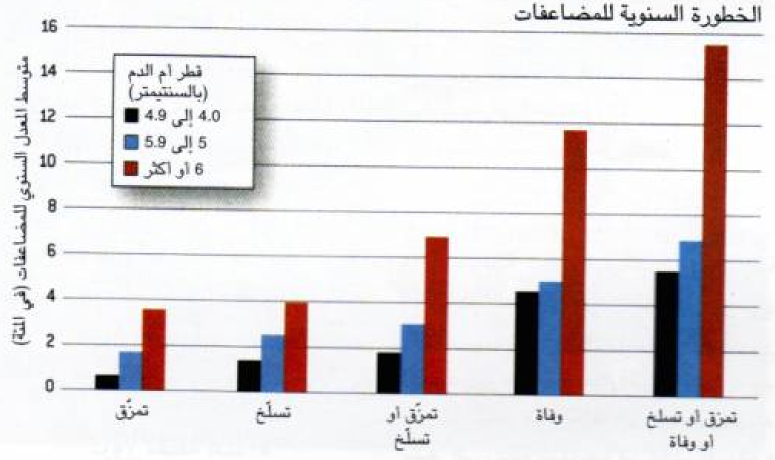
ويتطلب تحديد مثل هذه الاحتمالات دراسة عدد ضخم من الحالات، وقد جمعنا حديثا بيانات تكفي لبدء إجراء التحليلات الإحصائية الملائمة. وتشمل مجموعة البيانات تلك معلومات من مرضى مصابين بأمهات الدم في أي مكان من الأبهر الصدري، مع أن إصابة نحو ثلثي عدد المرضى كانت في المنطقة الصاعدة. ونشاهد ميلا إلى زيادة متدرجة في احتمال وقوع الحوادث السيئة خلال السنة التالية مع نمو أم الدم من 4 سنتيمترات إلى 5.9 سنتيمتر؛ وما إن يصل الأبهر إلى 6 سم قطرا حتى تحدث قفزة حادة في درجة الخطورة [*انظر الرسم البياني السفلي والإيضاح في الصفحة 34*]. وعلى سبيل المثال، نجد أن خطورة التمزق أو التسلخ أو الموت خلال سنة في حالة وجود أم دم صدرية بقطر 6 سنتيمترات أو أكثر ترتفع إلى نسبة مدهشة تبلغ 15.6 في المئة. ولا يحمل العديد من أشكال السرطان هذا الاحتمال السنوي الضخم للوفيات.

وبناء على هذه المشاهدات، نصحنا بوجوب إزالة أمهات الدم في الأبهر الصاعد جراحيا قبل نمو العيب وبلوغ القطر 6 سنتيمترات. ونقترح في حالة

(*) A Threshold Emerges







لقد تم حساب احتمالات حدوث التمزق أو التسلخ في أمهات الدم الأبهرية الصدرية. وفي إحدى الدراسات، رسم الباحث وزملاؤه بيانيا الخطورة التي تكمن في أمهات الدم الصغيرة البالغة 4 وحتى 4.9 سنتيمتر. ووجدوا ارتفاعا هائلا في الخطورة حينما تصل أمهات الدم إلى قياس 6 سنتيمترات في الأبهر الصاعد [*المخطط العلوي*] أو 7 سنتيمترات في الأبهر النازل [غير موضح]. كما أظهرت دراسة أخرى [*المخطط السفلي*] أن احتمال التمزق أو التسلخ أو الموت خلال السنة التالية يرتفع أيضا بحدة في أمهات الدم التي تصل إلى 6 سنتيمترات أو أكثر. [إن المعدلات المبينة بالنسبة إلى «التمزق أو التسلخ» وبالنسبة إلى «التمزق أو التسلخ أو الوفاة» هي أدنى من مجموع المعدلات في الفئات الفرعية، إذ جرى حساب المرضى ذوي المضاعفات المتعددة مرة واحدة فقط في الفئات المجتمعة]. واعتمادا على معلومات كهذه، قرر الباحثون أن العديد من مرضى أمهات الدم في الأبهر الصاعد بحاجة إلى جراحة تصحيحية حينما ينتفخ الشريان حتى 5.5 سنتيمتر.

معظم الناس الذين ليست لهم سوابق عائلية من أمهات الدم إجراء العملية حين بلوغ الآفة 5.5 سنتيمتر. أما بالنسبة إلى الأبهر النازل، فربما تجرى الجراحة عندما يصل القياس إلى 6 سنتيمترات إن كان المريض في صحة جيدة تسمح له بتحملها. ولكن تؤجل الجراحة أحيانا حتى نحو 6.5 سنتيمتر إن كان المريض ضعيف الجسم. ونحن نجري العمليات حينما تكون أمهات الدم ذات مقاييس أصغر مما جئنا على ذكره للمرضى الذين يعانون متلازمة مارفان أو لديهم سوابق عائلية من الإصابة باضطرابات ذات علاقة بأم الدم مادامت هذه تشكل تهديدا للحياة بين هؤلاء الناس في وقت مبكر. وإننا نرى أن استخدام هذه المعايير سيمنع وقوع معظم التمزقات والتسلخات دون تعريض المريض لمخاطر الجراحة الأبهرية على نحو ملائم أو قبل الأوان. وقبل أن تصل أم الدم إلى درجة تسوّغ اللجوء إلى الجراحة، قد يحاول الأطباء حماية الأبهر بالأدوية التي تضبط ضغط الدم وتبطئ القلب للحد من الشدة التي تمارس على الجدار المنتفخ.

إن الأبهر البطني هو بشكل طبيعي أصغر من الأبهر الصدري، ويحدث تمزق الأبهر البطني عادة في أحجام أصغر مما يحدث في الأبهر الصدري. وطبقا لذلك، فمن المألوف أن يتدخل الأطباء جراحيا في الأحجام الأصغر في أمهات الدم الأبهرية البطنية. وينصح بعض الخبراء بالتدخل في حجم 4 سنتيمترات للنساء و5 سنتيمترات للرجال كإرشادات عامة تقريبية.

السرّ في الأسرة(*)

ولإنقاذ المزيد من المرضى، يعمد الأطباء إلى الإفادة من معرفة الأفراد **اللاأعراضيين**[1] asymptomatic المعرضين لخطر الإصابة بأمهات الدم، كي يتمكنوا من كشف الحالة مبكرا، ومراقبتها عن كثب ومعالجتها فورا. إن متلازمة مارفان هي إنذار معروف تماما، وينتهي الأمر بالعديد ممن يعانون هذه المتلازمة بالإصابة بأمهات الدم الأبهرية. غير أن مرضى متلازمة مارفان لا يمثلون إلا 5 في المئة فقط من مرضى أم الدم جميعهم. أما نسبة الـ95 في المئة المتبقية فهي حالات غامضة ويبقى سببها مجهولا حتى الآن.

اعتقد الأطباء يوما أن أمهات الدم ناجمة عن **التصلب العصيدي** atherosclerosis، الذي هو تراكم لويحات دهنية في جدار الشرايين. غير أننا وجدنا أن مرضى أمهات الدم في الأبهر الصاعد هم في الحقيقة أقل استعدادا للإصابة بالتصلب العصيدي من الناس عموما، ولذا ربما لا يشكل توضع اللويحات سببا في حالاتهم. ومن جهة أخرى، غالبا ما تبدو أمهات الدم في المناطق السفلية والبطنية مترافقة بلويحات في

(*) All the Family

(1) المصابين بمرض لا يترافق بأعراض سريرية مع وجود أعراض مرضية على مستوى الخلايا والأعضاء. (التحرير)

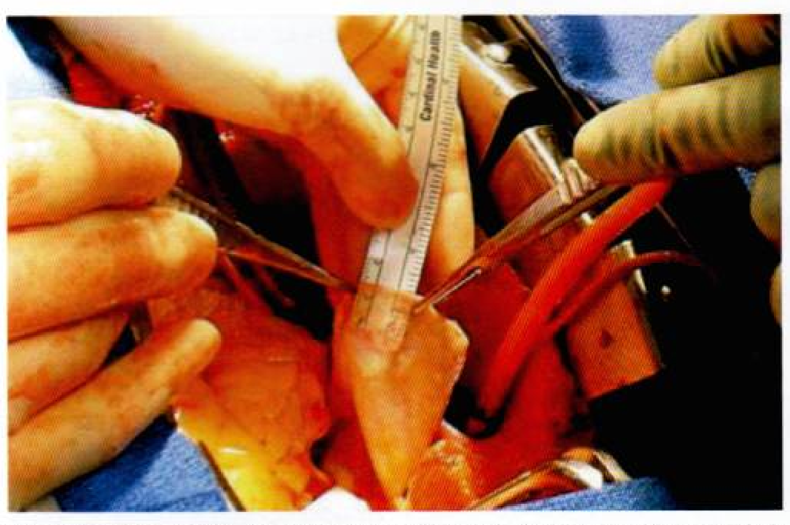
الأبهر وفي تفرعاته، مما يوحي بأن التصلب العصيدي ربما يسهم في حدوث أمهات الدم تلك.

أظهرت قاعدة بياناتنا أن معظم أمهات الدم الصدرية ذات مكوّن وراثي (جيني) قوي من نوع ما. وينطبق الأمر ذاته على أمهات الدم في الأبهر البطني وفي الدماغ. وقد أصبنا بدهشة بالغة عندما راجعنا القصص العائلية للمرضى المصابين بأمهات الدم، واكتشفنا مقدار تواتر ذكرهم أن قريبا لهم أصيب بأم الدم أو فردا من أسرتهم مات فجأة أو على نحو غير متوقع في عمر مبكر. وغالبا ما نُسب حدوث الشكل الأخير إلى توقف القلب، ولكن تشريح الجثة أظهر في حالات عديدة أم دم متمزقة. وفي 500 أسرة قمنا بتحليل معلومات عن أنسابها، وجدنا أن نحو 20 في المئة منها ذات سوابق إصابة بأم الدم. ويبدو أن هذه الخَلة[1] مسيطرة في معظم الأسر؛ وبكلمات أخرى لا يحتاج الفرد إلا إلى وراثة «جينة أم الدم»[2] من أحد الأبوين كي يتعرض للإصابة. وفي إحدى هذه الأسر نقل الأب مرض الأبهر إلى أولاده الأربعة جميعا. وأظهرت أسر أخرى أنماطا مختلفة من الوراثة؛ مما يشير إلى أن أكثر من جينة واحدة يمكنها أداء دور في الاستعداد للإصابة بأم الدم.

إذا أتيح تحديد الواسمات[3] الجينية التي تدل على ازدياد الاستعداد للإصابة بأم الدم، فربما تمكن الأطباء يوما من استخدام اختبار دموي بسيط لإجراء تعيين دقيق للمحتاجين إلى مراقبة شديدة لكشف أمهات الدم مبكرا وتقرير أفضل وقت للجراحة. وقد تعتمد تلك الاختبارات على **التصوير الطبقي المحوسب** CT scan أو **تخطيط صدى القلب** echocardiogram. وإن أمكن إيجاد الجينات الحقيقية المسؤولة عن الخطأ، فربما صار الباحثون قادرين على تطوير طرق مداواة تبطل على وجه الخصوص تأثيراتها السيئة، كإبطاء نمو أمهات الدم أو منع حدوثها عن طريق إحصار النشاطات غير المرغوبة للبروتينات التي **تكودها** encoded تلك الجينات.

ومع سعينا الدؤوب لإيجاد طرق كشف أفضل والتوصل في نهاية المطاف إلى تحسين طرق المعالجة، بدأنا، بالتعاون مع علماء من مركز سيليرا Celera للتشخيص في ألاميدا بكاليفورنيا، بالبحث عن واسمات جينية تدعى SNPs ـ أي: متعددات الأشكال ذوات النوويدات المفردة ـ التي ترتبط بالمرض الأبهري. إن الواسمات SNPs هي سلاسل **دنوية** DNA تختلف في نوويد مفرد، أو في رسالة مكودة، بين قسم من السكان وآخر. ويقارن <J. ديڤلن> و<O. ياكوبوڤا> وفريقهما في سيليرا عينات من الدنا مستحصلة من 500 من مرضانا المصابين بأمهات دم صدرية ومن بين 500 فرد أصحاء الجسم، هم في هذه الحالة أزواج المرضى. وبالاعتماد على وسائل مؤتمتة سيجرون فيما بعد **تفريسا** scan لـ000 16 منطقة وراثية للواسمات SNPs التي تظهر بتواتر أكثر في المرضى مما هي في الشواهد الأصحاء.

وأظهر عملنا المبدئي عددا من الواسمات SNPs التي ربما تحدد تزايد الخطورة، ونحن نقوم بمتابعة هذه النقاط الأساسية في مجموعة مرضانا الضخمة. إضافة إلى ذلك، نجري دراسة مشابهة على مرضى أم الدم في أوروبا للتأكد من صحة نتائجنا في مجموعات سكانية مختلفة.



لقد أصبح جدار الأبهر رقيقا جدا في أم دم بلغ قطرها 6 سنتيمترات، حتى أمكن من خلاله رؤية تدريجات مسطرة وضعت وراء نسيج الجدار. وتشير النتائج الحديثة إلى أن أمهات الدم ناجمة جزئيا عن فرط نشاط إنزيمات، تعرف بالإنزيمات البروتينية المفلزة (MMPs)، تهضم البروتينات اللازمة لمرونة جدار الشريان.

أين يكمن الخطأ؟[*]

إذا تم تحديد الجينات التي تَحدث فيها الواسمات SNPs المتصلة بأم الدم، تمكنّا من تمييز البروتينات التي تكودها تلك الجينات وعرفنا كيف تسهم هذه في سوء وظيفة الأبهر. بيد أن لدى الباحثين إحساسا ببعض البروتينات التي ربما تكون معنية بالأمر. فمثلا، نحن نعرف أن الجزء المتمطط من جدار الوعاء في معظم مرضى أمهات الدم الأبهرية يبدي ضياعا في الألياف المرنة وفي **الكلاجين** collagen مقارنة بالنسيج السليم. وتضافر هذه البروتينات يمنح الشريان قوته ومرونته. ويمكن للعيوب التي تسهم في هذه المشكلة أن تحدث في الجينات التي تكود تلك البروتينات أو في غيرها من الجينات التي تنظم تصنيع أو صيانة **الإيلاستين (المرنين)** elastin والكلاجين.

وفي متلازمة مارفان، يغلب أن تؤدي العيوب الجينية المسؤولة عن الضرر إلى حرمان الجينة من الفبريلين (الليفين)، وهو بروتين يتضافر مع الإيلاستين لتشكيل ألياف مرنة. ونتيجة لذلك، تقع الفوضى في اصطناع وتوضع الفبريلين؛ وهي مشكلة يفترض أنها تضعف جدار الأبهر وتعرّضه لتشكل أم الدم.

(*) What Goes Wrong
(1) trait
(2) aneurysm gene
(3) markers

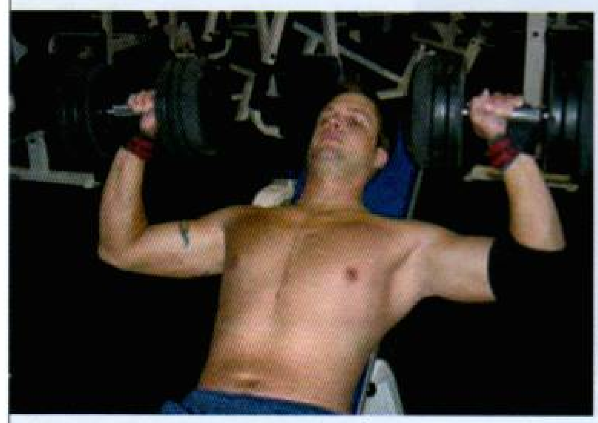
تحذير لرافعي الأثقال(*)

في أواخر عام 2003 نشرت مع زملائي في «مجلة الجمعية الطبية الأمريكية» حدوث تسلخ الأبهر المأساوي في أفراد بدوا في صحة جيدة ظاهريا وكانوا يمارسون تدريبا رياضيا عنيفا. وكان لدى كل منهم، دون علمه، انتفاخ في جزء الشريان الأبهر الصادر من القلب. وحدث فجأة على نحو يهدد الحياة أن انفصل النصف الداخلي من الجدار المتمطط عن الجزء الخارجي. وكان اثنان منهم حين التسلخ يرفعان أثقالا، وكان اثنان يمارسان التمارين الرياضية لعضلات الذراعين والكتفين، وكان الخامس يحاول رفع قطعة ثقيلة من حجر الصوان (الگرانيت). وقد أنقذ ثلاثة منهم بمداخلة جراحية. ومنذ ذلك الحين، أصبحنا على علم بعشرات الحالات الأخرى من تسلخ الأبهر أثناء رفع الأثقال، مما يشير إلى أن الظاهرة ليست نادرة في المجال الطبي.

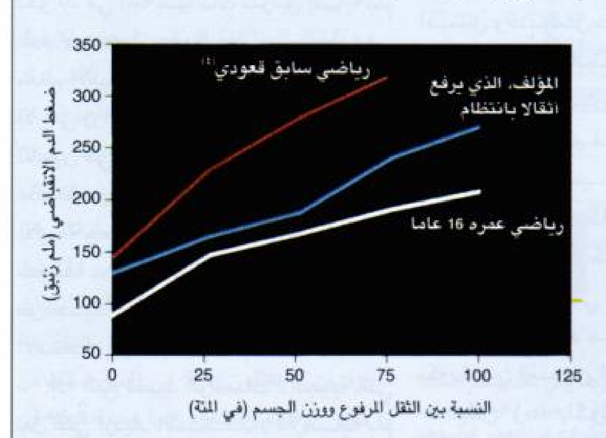
أين يكمن تفسير هذه الصلة؟ يبدو جزء من ذلك في أن التمارين الرياضية التي تتطلب التمطط المضاد لمقاومة ثابتة، كما يحدث في رفع الأثقال، يمكنها أن ترفع ضغط الدم وتوصله إلى مستويات عالية بشكل خطر. وقد سجلت بعض الدراسات ضغطا انقباضيا (وهو الضغط في الشرايين حين انقباض القلب) بلغ 380 مليمترا زئبقيا بين رافعي الأثقال المتنافسين، مع أن القيمة الطبيعية له هي 120 أو دون ذلك. وأكدنا حدوث هذا الارتفاع في الضغط في دراسة لنا شملت ثلاثة متطوعين. لقد وصل الضغط عند أحدهم إلى 319 مليمترا زئبقيا حينما كان يرفع وزنا يعادل ثلاثة أرباع وزن جسمه (*المخطط*).

وربما كان مثل هذا الضغط كبيرا جدا بالنسبة إلى شريان سبق تمططه فلا يستطيع تحمله. ووجدنا من دراسات أخرى للخصائص الميكانيكية للأبهر المتمدد أنه في حدود 200 مليمتر زئبقي، تمارس أم الدم البالغة 6 سنتيمترات 800 كيلو پاسكال من الضغط - وهي قيمة تساوي **مقاومة الشد** tensile strength العظمى للنسيج. ولذا لن يدهشنا ألا تقاوم أم الدم الأبهرية المعرضة لضغط دم يقترب من 300 مليمتر زئبقي أو يفوقه.

ويسبب هذا الارتفاع في الضغط نقول للرياضيين ذوي السوابق الشخصية أو الأسرية لأم الدم الأبهرية أو لأي توسع أبهري معلوم أن يلزموا الحذر الشديد في ممارستهم رفع الأثقال. وربما تعيّن عليهم أن يحدوا من نشاطاتهم في رفع الأثقال إلى ما يساوي نصف أوزان أجسامهم أو دون ذلك. وقد يكون رفع الأثقال مفيدا جدا للحفاظ على الكتلة العظمية وقوة العظام؛ غير أننا ننصح بشدة الأفراد الذين ينوون المباشرة في برامج التدرب على رفع أوزان ثقيلة أن يجروا **مخطط الصدى** echocardiogram لقلوبهم لفحص احتمال وجود أمهات دم لديهم قبل الشروع في رياضتهم. *J.A.E.*



شاب عانى تسلخا أبهريا حرّضه رفع أوزان ثقيلة جدا ولايزال يحمل ندبة الجراحة التي أجريت له وأنقذت حياته. أتيحت له فرصة حسنة حينما عجّل في حدوث التسلخ الارتفاع الحاد في ضغط الدم خلال اختبارات الأهلية ويمكن أن يرتفع ضغط الدم حتى بين الأصحاء ويصل إلى قيم هائلة تفوق 300 مليمتر زئبقي في أثناء رفع الأثقال (المخطط).



ومع ذلك، لا أحد يعرف حتى الآن مقدار شيوع الطفرات في جينة الفبريلين بين المرضى المصابين بمتلازمة مارفان.

لقد وجدنا مؤخرا دليلا على أن الوفرة المفرطة في بعض الإنزيمات في جدار الأبهر ربما أسهمت في تشكل ونماء أمهات الدم في ضحايا عديدين. إن الأوعية الدموية جميعها تؤوي إنزيمات تدعى **الإنزيمات البروتينية المفلزة** metalloproteinases (MMPs) التي تمضغ البروتينات القديمة لتسمح بصنع أخرى جديدة. وتملك الأوعية ذاتها أيضا بروتينات مثبطة تساعد على إبقاء الإنزيمات MMPs في وضع حرج. ويتوازن نشاط هذه البروتينات في جدار أبهر سليم على نحو يبقى فيه انقلاب[1] البروتين ثابتا. وعلى نقيض ذلك، نجد في شدف الأبهر التي أزيلت من مرضانا المصابين بأم الدم في نمطين من الإنزيمات MMPs ونقصا في مقادير أحد البروتينات المثبطة[2].

وقد يؤدي انعدام التوازن هذا إلى ازدياد تدرك[3] البروتينات، بما فيها الإيلاستين والفبريلين، في جدار الأبهر؛ وهي حالة يمكنها تمهيد الطريق لأمهات دم أبهرية صدرية عن طريق إضعاف جدار الوعاء. وفي أحد المرضى، أصبح الأبهر رقيقا جدا إلى درجة أمكن فيها قراءة علامات مسطرة عبر جداره. ووجد علماء آخرون دليلا على دور الإنزيمات MMPs ذات النشاط المفرط. وتوحي هذه النتائج أن الأدوية القادرة على حصر نشاط الإنزيمات MMPs قد تساعد على تثبيط نمو أمهات الدم الأبهرية أو الحيلولة دون تمزقها. ولكن دراسة هذه الفكرة لاتزال في بداياتها.

وبدأنا مؤخرا مع زميلنا <G. كولياس> [من جامعة ييل] بتقييم الخواص الميكانيكية للأبهر المتوسع لنعرف بشكل أفضل السبب الذي يجعله أشد خطورة حينما يتضخم.

(*) A Warning for Weight Lifters

(1) turnover

(2) inhibitory proteins

(3) degradation

(4) sedentary: لا يحب التنقل أو يعمل معظم أعماله قاعدا. (التحرير)

من يجب أن يقلق(*)



إن أم الدم الأبهرية شبيهة، في بعض النواحي، بقنبلة موقوتة في الصدر. فقد تبقى صامتة إلى أن يأتي يوم تتمزق فيه أو تتسلخ. ولكنّ هناك ظروفًا معينة غالبا ما تشير إلى استعداد شخص لأمهات دم أبهرية هي:

- وجود سوابق عائلية لأمهات الدم.
- وجود فرد ما في الأسرة أصيب **بوهط** collapse صحي ومات فجأة أو دون توقع.
- وجود متلازمة Marfan أو سماتها. وتشمل هذه الأطراف الطويلة والبنية العامة الطويلة والنحيلة، والمفاصل اللينة [كما يتضح في قدرتها المبينة *في الأيسر* على ثني الإبهام حتى يقطع كامل المسافة الواقعة فوق راحة اليد مع الحفاظ على اليد منبسطة].

أقول وزملائي للمرضى الذين تنطبق عليهم أي من هذه المعايير ـ أو الذين ينوون الانخراط في رياضة رفع الأثقال ـ أن يجروا **تفريسات** scans مقطعية محوسبة أو مخططات لصدى القلب لمراقبة وجود أمهات الدم. إن التدرب على رفع الأثقال لا يزيد من خطورة الإصابة بأم الدم؛ ولكن، وكما هو مذكور في *المؤطر في الصفحة المقابلة*، يزيد من احتمال أن تصبح أم الدم الموجودة قاتلة على نحو مفاجئ. *-J. A. E.*

ونحن نقيس قطر أم الدم وسماكة جدارها وضغط الدم في أثناء انقباض القلب واسترخائه قبل أن نزيلها جراحيا. واعتمادا على هذه المعلومات يمكننا حساب خصائص الوعاء الدموي الميكانيكية.

لقد بيّنا أن تضخم الأبهر يؤدي إلى إضعاف قابلية انتفاخه أو قدرته على التمطط. كما بينا أنه في الوقت الذي تصل فيه أم الدم في الأبهر الصاعد إلى 6 سنتيمترات قطرا ـ وهي القيمة الحرجة ذاتها التي وجدناها في دراساتنا السابقة لسلوك أم الدم ـ يصبح الوعاء كأنبوب قاس. وهذا التصلب يرفع إلى الحد الأعلى الجهد الذي يمتصه جدار الأبهر بينما يجتازه الدم مع كل نبضة قلب، ويساعد ذلك على شرح السبب الذي يجعل الاضطراب يقع غالبا حينما تصل أم الدم إلى البعد الحاسم البالغ 6 سنتيمترات.

إن انعدام المرونة يهيئ الظروف لبلوغ أم الدم الأبهرية مرحلة كارثية ولكن ما الذي يجعلها تتجاوز الحد؟ لقد بدأنا بتصنيف الأحداث النوعية التي تسبب حدوث التسلخ في لحظة معينة من الزمن لدى فرد يملك الاستعداد. وبعد إجراء مقابلات مع مرضانا في قاعدة بياناتنا، تبين أن نحو ثلاثة من كل أربعة مرضى يتذكرون تعرضهم لعارضة هائلة من الانفعال الشديد أو الجهد الجسمي سبق التسلخ تماما. إن ما يملكه هذان النشاطان من أمر مشترك هو افتراض أن كلا منهما يفضي إلى ارتفاع في ضغط الدم يسبب انشقاق الأبهر السريع التأثر. ولدينا برهان نوعي يدل على أن هذا هو ما يحدث في أحد أنواع النشاطات الرياضية، وهو رفع الأثقال. وفي الحقيقة، يمكن أن تضع هذه الرياضة جهدا كبيرا على أم الدم فتعجل بحدوث الأزمة حتى وإن لم يكن الانتفاخ قد تجاوز 6 سنتيمترات [*انظر المؤطر في الصفحة المقابلة*]. ويبدو منطقيا أن نخمّن بأن ارتفاع الضغط الناجم عن أحداث أخرى قد يستحث تمزق أم الدم، مع أننا حتى الآن لم ندرس هذا الاحتمال مباشرة.

لقد أبدى طبيب القرن التاسع عشر الشهير السير <W.> أوسلر> مرة ملاحظة قال فيها: «ليس هناك مرض يشعر السريريون أنه يحط من قدرهم أكثر من أم الدم التي تصيب الأبهر.» أما اليوم فإن الاستقصاءات التي طالت بيولوجيا أم الدم الأبهرية الصدرية وسلوكها ـ بدءا من الاستعداد الوراثي الذي يسبب تشكلها وحتى الأحداث الجسيمة والانفعالية التي تؤدي إلى انتفاخها أو تمزقها ـ تساعد على جعل الحالة أقل قهرا.

أما <كارميلا> فمستمرة في العيش بصحة جيدة، كما عادت إلى عملها كفنانة. وتقول: «أعرف أن الكلام يبدو مكررا، ولكنني أشعر أنني أعطيت فرصة ثانية لأعيش حياتي» ـ فرصة لم تتح لأبيها الذي مات بسبب تسلخ أبهري في عمر 34 عاما. ونأمل أن تفضي أبحاثنا التي أوحت بها أزمة <كارميلا> في ذاك اليوم الربيعي المريع، إلى إتاحة الفرصة نفسها لمرضى آخرين كثيرين. ■

(*) Who Should Worry

المؤلف

John A. Elefteriades

تخرج بامتياز كبير في جامعة ييل وذلك بثلاثة اختصاصات هي الفيزياء واللغة الفرنسية وعلم النفس قبل أن يتابع دراسته ويحصل على شهادة الطب والتدرب السريري في الجراحة العامة وجراحة القلب والصدر. وهو الآن أستاذ ورئيس الجراحة القلبية الصدرية في تلك الجامعة وفي مستشفى New Haven التابع لها. لقد بدأ برنامج التدرب على رفع الأثقال منذ أن كان في فريق المصارعة في الصف السابع، ويواظب على هذه الرياضة من ذلك الحين؛ ويستطيع رفع ثقل يساوي 75 في المئة من وزنه الشخصي. وهو متأكد بوساطة مخطط القلب أنه لا يؤوي أية أم دم.

مراجع للاستزادة

Surgical Intervention Criteria for Thoracic Aortic Aneurysms: A Study of Growth Rates and Complications. Michael A. Coady et al. in *Annals of Thoracic Surgery*, Vol. 67, No. 6, pages 1922–1926; June 1999.

Yearly Rupture or Dissection Rates for Thoracic Aortic Aneurysms: Simple Prediction Based on Size. R. R. Davies, L. J. Goldstein, M. A. Coady, S. L. Tittle, J. A. Rizzo, G. S. Kopf and J. A. Elefteriades in *Annals of Thoracic Surgery*, Vol. 73, No. 1, pages 17–27; January 2002.

Weight Lifting and Rupture of Silent Aortic Aneurysms. John Elefteriades et al. in *Journal of the American Medical Association*, Vol. 290, No. 21, page 2803; December 3, 2003.

Perspectives on Diseases of the Thoracic Aorta. John A. Elefteriades in *Advances in Cardiology*, Vol. 41, pages 75–86; 2004.

Kevin Helliker and Thomas M. Burton's *Wall Street Journal* series on aortic aneurysms: **www.pulitzer.org/year/2004/explanatory-reporting/works/**

Scientific American, August 2005

الراديو الاستعرافي(*)

سوف تتجنب أجهزة الراديو الذكية والتجهيزات اللاسلكية الحديثة الأخرى عوائق الاتصال، بالتحول آنيا إلى ترددات مجاورة تجدها واضحة.

<S. آشلي>

تبث محطة الإذاعة المفضلة لديك على تردد معين، وحينما تضبط المستقبِل على عدد الاهتزازات في الثانية الموافقة لذلك التردد، فإنك تولِّف دارة الهوائي لتستخلص تردد المحطة ذاك من الأثير. وإذا تداخلَت مرسلات أخرى مع ما تستقبله، فإن خيارك الحقيقي الوحيد هو أن تنتظر زوال المشكلة. أما في أفضل الحالات، فيمكن للمستقبِل الاستجابة للمشكلة بالتحولُ فورا إلى تردد احتياطي عامل يحمل بث إذاعتك. إن مثل هذا الحل مازال بعيدا عن متناول تقانة الراديو الحالية، وهذا المثال قد يوحي بأن المشكلة تافهة. لكنْ تخيَّل الآن أن التداخل يسبب انقطاع مكالمة خلوية طارئة وعاجلة. في تلك الحالة، يمكن لانتقال المكالمة السريع إلى قناة خلوية صافية أن يكون أكثر من مجرد شيء مفيد ـ فقد يُنقذ حياة شخص في خطر.

يعمل المهندسون حالياً على إدخال ذاك النوع من الذكاء العملياتي المرن في أجهزة الراديو والهاتف الخلوي وتجهيزات الاتصالات اللاسلكية الأخرى المستقبلية. وخلال العقد القادم، سوف تمكِّن تقانةُ الراديو الاستعرافي[1] أيَّ نظام لاسلكي تقريبا من تحديد واستخدام أيِّ تردد راديوي محلي متاح وغير مشغول، بغية خدمة المستخدِم على أفضل وجه. فباستخدام برمجيات متكيِّفة، يمكن لهذه التجهيزات الذكية إعادة تشكيل وظائفها الاتصالاتية لتحقِّق متطلبات شبكة الاتصال والمستخدم.

سوف يَعْرِف جهاز الراديو الاستعرافي ما عليه فعله اعتمادا على خبرة سابقة. فأثناء ذهابك إلى العمل صباحا، على سبيل المثال، يمكنه، وهو إلى جانبك في السيارة، قياس خصائص الانتشار وشدة الإشارة وجودة الإرسال في النطُق[2] المختلفة [*انظر الإطار أعلى الصفحة 40*]. بذلك يمكن لوحدة الراديو الاستعرافي بناء قاعدة بيانات داخلية تقرِّر طريقة العمل المثلى في الأمكنة المختلفة وفي كلِّ وقت من أوقات اليوم. وعلى العكس من ذلك، فإن النطق الترددية وبارامترات بروتوكولات الاتصال في النظم اللاسلكية الحالية هي ثابتة على الأغلب.

حينما ترسل أجهزة الراديو الاستعرافي الإشارات وتستقبلها، سوف تقفز بسرعة بين النطق الترددية[3] لشاغرة بحسب المطلوب، متجنبة تلك التي هي قيد الاستخدام. إن هذا القفز بين الأقنية بسرعة البرق، سوف يتيح لنظم الراديو الاستعرافي إرسال الصوت والبيانات بسرعة معقولة. وباستغلال موارد الترددات الراديوية[4] RF المتوافرة استغلالا عالي الفعالية، بغية تجاوز اختناقات حركة توفير الطيف، سوف تصبح الاتصالات اللاسلكية أكثر قابلية للاعتماد عليها وأكثر راحة، وربما تصبح أرخص بكثير مما هي عليه اليوم. وبالفعل، إذا تقدمت تقانة الراديو الاستعرافي كما يأمُل مطوِّروها، فسوف يظهر فيض من خيارات الطيف الترددي[5] عمليا مع مضي الزمن. ولن تكون موجات الهواء كما كانت عليه من قبل أبدا.

ليس ثمة متسع في الهواء(***)

من سوء الطالع أن جميع موجات الهواء تلك شديدةُ الازدحام حاليا. فبعض النطق

نظرة إجمالية/ الراديو الذكي(**)

- الراديو الاستعرافي هو تقانة اتصالات لاسلكية ذكية بازغة سوف تكون قادرة على إيجاد تردد راديوي شاغر في الجوار والاتصال بوساطته بغية خدمة المستخدم على أفضل وجه. إذًا، سوف يكون الراديو الاستعرافي قادرا على التحول من نطاق من الطيف الراديوي أغلقها التداخل، إلى نطاق شاغر لإكمال قناة الاتصال، وهذه مقْدرة مهمة، في الطوارئ على وجه الخصوص.
- سوف تمكِّن البرمجيات المتكيِّفة هذه التجهيزات الذكية من إعادة تشكيل وظائفها لتلبي متطلبات شبكات الاتصالات ومستخدميها بحسب الحاجة. وسوف تستند هذه التغيرات إلى المقْدرة على تحسُّس عوامل مختلفة وتذكُّرها، من قبيل الترددات الراديوية وتصرُّف المستخدم، أو حالة الشبكة في بيئات إرسال مختلفة، في أي وقت أو مكان. ونتيجة لذلك سوف تصبح الاتصالات اللاسلكية أكثر سهولة وقابلية للاعتماد عليها.
- يمكن للمرونة الجديدة التي يوفرها الراديو الاستعرافي أن تمكِّن المستخدمين أيضا من الاستفادة، في نهاية المطاف، من مسارات شبكة لاسلكية أرخص متاحة محليا لإقامة الاتصال، وهذه سمة يمكن أن تؤثر كثيرا في تحديث أعمال الاتصالات الصناعية والتجارية.

(*) COGNITIVE RADIO
(**) Overview/ Intelligent Radios
(***) No Room
(1) cognitive radio: والمقصود بالراديو هنا كل ما له صلة بالترددات الراديوية؛ أما صفة الاستعرافي فتنطوي على مقدرة النظام الراديوي على معرفة البيئة المحيطة به والتصرف بناء على تلك المعرفة.
(2) bands
(3) frequency bands
(4) radio frequency
(5) spectrum availability

الترددية مشغولة إلى حد جعل الانتظارَ الطويل والتداخلَ هما القاعدة. لكن توافر قنوات الاتصال يعتمد على النظم اللاسلكية المستخدمة. إن الطيف الراديوي، أيْ ذلك الجزء من الطيف الكهرمغنطيسي[1] الذي يحوي موجات في نطاق الترددات الراديوية، يحتضن اليوم عددا لا يُحصى من أجهزة الاتصالات. وفي الولايات المتحدة، تخصص **وكالة الاتصالات الفدرالية** Federal Communications Commission (FCC) المستخدمين بترددات معينة، وتتضمن تلك الترددات النطق الشهيرة AM[2] و FM[3] والموجة القصيرة ونطاق المواطنين[4] (الأفراد)، وأقنية التلفزة في النطاقين VHF[5] و UH[6]، إضافة إلى مئات من النطق الأقل شهرة التي تخدم الهواتف الخلوية واللاسلكية، ونظم تتبع الـGPS[7] ورادارات مراقبة الحركة الجوية، وأجهزة الإنذار الأمنية، والدمى المتحكم فيها راديويا وما شابهها [*انظر الإطار في الصفحة 43*].

نَجَم الشُّح الحالي في الطيف الراديوي، في المقام الأول، عن القيود المتمثلة بتكلفة وأداء **العتاديات** hardwear الموروثة التي بُنيَت في القرن الماضي. فبحلول نهاية خمسينات القرن العشرين، على سبيل المثال، أرغَمت تصاميمُ الأجهزة التلفزيونية، السائدةُ حينذاك والقائمةُ على الصمامات الإلكترونية، النماذجَ الجديدة التي تستخدم الترانزستورات على استقبال إشارات الـ VHF فقط، إلى أن تمكّن المهندسون من إدخال تحسينات على تلك الأجهزة بعد بضع سنوات. أما اليوم، فيعالَج عدم مرونة العتاديات هذا بتصاميم لاسلكية متكيِّفة تعتمد على البرمجيات.

إن هذا الجيل التالي من تقانة اللاسلكي، والمسمى **بالراديو المعرَّف برمجيا** software-defined radio (SDR)، يستخدم خوارزميات معالجة الإشارة المتضمَّنة فيه لغربلة الإشارات الراديوية الضعيفة، إضافة إلى بنى برمجية قابلة لإعادة التشكيل لاستقبال وإرسال بروتوكولات راديوية جديدة. ويتوقع الخبراء أن هذا التقدم المستند إلى البرمجيات سوف يُحدِث في المدى القريب نسبيا تحولا مزلزلا في التصميم الراديوي.

إن التغيير يعني، على سبيل المثال، أن تقانات كود الراديو SDR، وتقانات واجهات التخاطب الراديوية الأمامية الأخرى القابلة للبرمجة والعاملة في حاسوب محمُول (مزوَّد ببطاقة صغيرة للوصل مع وحدة راديوية) يمكن أن تستقبل إشارات تلفزيونية وتُظهرها. فإذا زُوِّد الحاسوب المحمول أيضا ببطاقة راديوية تماثلية[8] SDR، أمكنه تحميل برمجيات تتيح له التصرف كجهاز هاتف خلوي أو محطة خلوية قاعدية أو مفكِّرة لاسلكية شخصية أو حتى أيِّ جهاز راديوي عسكري - أياً كان المطلوب (والمسموح به) لأداء المهمة المعنية. وعلى الرغم من أن الاتصالات اللاسلكية القائمة على الراديو SDR ليست معروفة إلا لقليل من الناس، فإن العالم بدأ فعلا بدخول حقبتها.

يأتي الراديو الاستعرافي عقب تقانة الراديو SDR ويبني عليها. ويشتمل هذا النموذج اللاسلكي الجديد على نظم الراديو SDR، التي تستطيع إعادة تشكيل خرجها



تقفز الإشارات اللاسلكية في الراديو الاستعرافي آليا إلى تردد متاح شاغر. وتكون النتيجة إرسالات أعلى وثوقية، وربما اتصالات بتكاليف أقل في المستقبل.

(١) يتضمن الطيف الكهرمغنطيسي الطيف الراديوي (*المبين في الصفحة 43*) والأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية.
(٢) أيِ ما يُعرف في جهاز الراديو بالموجة المتوسطة، وAM اختصار لـ Amplitude Modulation، أي التضمين السعوي المستخدم عادة في بث الموجة المتوسطة.
(٣) أي ما يُعرف في جهاز الراديو بموجة الـ FM، وهي اختصار لـ Frequency Modulation، أي التضمين الترددي المستخدم عادة في بث الموجات اللاسلكية القصيرة والقصيرة جدا التي تحمل الصوت والموسيقى.
(٤) أي النطاق الترددي المخصص للأفراد خارج أطر المؤسسات والهيئات.
(٥) أي الموجات القصيرة جدا، أو الموجات ذات التردد العالي جدا Very High Frequency المستخدمة عادة في البث التلفزيوني الأرضي.
(٦) أي الموجات الفائقة القصر، أو الموجات ذات الترددات فوق العالية Ultra High Frequencies المستخدمة عادة في البث التلفزيوني الأرضي وفي بعض شبكات الاتصالات الخلوية.
(٧) أي نظام تحديد الموقع الشامل Global Positioning System.
(٨) analog

(التحرير)

هل تسمعني الآن؟(٭)



الراديوي التماثلي، والتي تتضمن «وعيا ذاتيا» ومعرفة ببروتوكولات الاتصال وقواعده وإجراءاته. إن هذه التطورات سوف تُنتِج راديو استعرافيا قادرا على تحسُّس بيئة تردداته الراديوية وموقعها، ومن ثَمَّ تغيير استطاعته وتردده وطريقة تضمينه وبارامترات تشغيله الأخرى بغية استخدام الطيف المتاح على نحو ديناميكي.

يعني الوعي الذاتي مقدرة الوحدة على معرفة ذاتها، ومعرفة علاقتها بالشبكات الراديوية التي تقطنها. والمهندسون يستطيعون تنفيذ هذه الوظائف بوساطة نموذج حسابي للجهاز ولبيئته، إذ يُعرِّفه بوصفه كينونة مستقلة («ذات») تعمل باعتبارها «جهاز راديو». ويعرِّف النموذج أيضا "مستخدما" يمكن للنظام اكتساب معرفة عنه.

سوف يكون الراديو الاستعرافي قادرا على أن يتحسَّس تلقائيا كيفية تغيُّر بيئته الراديوية مع الموقع والزمن بدلالة الاستطاعة التي يُشعها هو والمرسلات الأخرى في جواره. إن بنى البيانات هذه، مع البرمجيات ذات الصلة، سوف تمكِّن جهازَ الراديو الاستعرافي من اكتشاف الشبكات المحيطة به واستخدامها الاستخدام الأمثل، متجنبا في الوقت نفسه التداخل الذي تسببه أجهزة راديوية أخرى. وفي المستقبَل غير البعيد، سوف تتشارك تقانة الراديو الاستعرافي في الطيف الترددي المتاح تشاركا أمثليا دون تعليمات من شبكة تحكم، الأمر الذي يمكن أن يحرر المستخدم في النهاية من العقود والأجور.

إن مقدرة تقانة الراديو الاستعرافي على إعادة تعريف الخدمات اللاسلكية الحالية، تصبح واضحة عند النظر إلى جوانبها الاقتصادية. فالفاتورة الشهرية لخدمة الهاتف الخلوي، على سبيل المثال، تتضمن نفقات استئجار الطيف الراديوي والأبراج الخلوية، وثمن جهاز الهاتف، إضافة إلى سداد الديون الناتجة من إقامة المحطات الخلوية، وتكلفة الوصلات بين المحطات الخلوية، ونفقات الفَوْتَرة، وأرباح مشغِّل الشبكة. إن هذه النفقات تُدفع في مقابل الاستثمارات التي يقوم بها مزودو الخدمة الخلوية لإقامة شبكات راديوية مكرَّسة وتشغيلها.

يمكن لهذه التكاليف أن تنخفض انخفاضا كبيرا، ولجودة الخدمة أن تشهد تحسنا عظيما، عندما يُطلَق الراديو الاستعرافي إلى الأسواق. انظر إلى جهاز الهاتف الخلوي، القائم على أفضل تقانة متقدمة، والذي يُباع اليوم. إن أكثر من 1 جيگاهرتز من الطيف الترددي المفيد، لكنْ غير المستغَلّ استغلالا تاما، متاح لذلك الجهاز. لكنْ في أي لحظة، لا يستخدم الجهاز أكثر من 10 ميگاهرتز، أي واحد في المئة فقط مما هو متاح له. حتى إن ذلك الطيف يُختار من حصص طيفية ثابتة، عرض الواحدة منها نحو 100 ميگاهرتز فقط، تستطيع دارات الجهاز الولوج إليها.

يُضاف إلى ذلك أن الهاتف الخلوي المألوف يَستخدم عدة مئات من ملايين التعليمات في الثانية من الطاقة الحسابية المكرَّسة، إلى حد بعيد، لمقايِس خلوية معينة. ومزوِّد الخدمة يقوم عادة بتحميل هذه المواصفات القياسية لأغراضه الخاصة، من قبيل تقفلية البرمجيات من العلل، من دون أن تكون بالضرورة لمصلحة الزبون المباشرة. لكنْ ثمة أمر على صلة بالموضوع، إذ يمكن استخدام تلك الطاقة لتحميل برمجيات طرف ثالث تحميلا آمنا تسمح لجهاز الهاتف بالاتصال بشبكة لاسلكية محلية WLAN مجانا. وفي مؤتمر تقني حول الاتصالات النقالة في عام 2004، صرَّح موظف كبير في الشركة Motorola بأن الهاتف المعتمد على الشبكة WLAN صار مجديا تقنيا منذ سنوات، لكن مزودي الخدمة لا يرغبون في مثل هذا الجهاز. ولا عجب في ذلك، فمثل هذا الهاتف يمكن أن يتحول آليا إلى شبكات لاسلكية محلية مُشتركَة أثناء وقت العمل، حارما مزودي الخدمة من أجور ساعات كل يوم.

لكن عفريت الراديو الاستعرافي خرج من قمقمه. فدخول الراديو SDR الطيف الراديوي القليل الاستخدام، مع برمجيات التحكم التلقائي في الراديو الاستعرافي (والتي تعمل لمصلحة

(٭) Can You Hear Me Now?



المستهلك)، يؤطران مسارا لأعمال صناعية وتجارية باتجاه اعتماد تلك التقانة.

توافر طيف حر(*)

باستثناء نطاق الترددات العالية، ونطاق الموجات الميكروية التي هي أعلى من 6 جيگاهرتز، فإن ثمة نحو 2.8 جيگاهرتز من الطيف الراديوي المخصَّص حاليا، والواقع بين 28 و 5600 ميگاهرتز، قليلة الاستخدام ومتاحة للراديو الاستعرافي (يُستنتج هذا التخمين من حساسية المستقبلات الاسمية ومن مستويات الربح في الهوائيات الموجودة حاليا). من ناحية أخرى، فإن نطق الهاتف الخلوي وخدمات الإنترنت اللاسلكية كثيرة الاستخدام في أغلب الأحيان. وثمة عدد هائل من الأدوات الإلكترونية الصغيرة، كمفتاحي باب السيارة وبوابة المرآب اللاسلكيين، والدمى المتحكَّم فيها راديويا، تستخدم تلك النطق الترددية لنقل البيانات مسافات قصيرة. ويمكن لحشد من المستخدمين، المُغرمين بنموذج طائرة متحكَّم فيه راديويا، مثلا، أن يُغرق الطيف بالانشغالية. يضاف إلى ذلك أن النطق الخلوية، التي تكون عادة شاغرة تقريبا في الساعة 3.30 فجرا، تُشغَل تماما في وقت ذروة الاتصالات عند الساعة 10.0 صباحا، أو أثناء العودة من العمل مساء، خاصة إذا كان ثمة ازدحام في حركة السير.

أما عند الترددات التي هي أعلى من 6 جيگاهرتز، فالرطوبة والأمطار والثلوج تمتص الإشارات الراديوية امتصاصا شديدا. حتى في الهواء الجاف، فإن الامتصاص يبلغ ذروته بالقرب من 20 جيگاهرتز و60 جيگاهرتز. ومع ذلك، فإن وصلات معينة قصيرة لنقل البيانات (تصنف عادة على أنها وصلات «المعسكر» أو وصلات «أعلى التل» العسكرية) تحقِّق حاليا معدلات إرسال بيانات من رتبة الميگابتة في الثانية على ترددات بجوار 34 و 70 جيگاهرتز. وقد مكَّنت أخيرا قدراتُ الحاسوب المتنامية الأجهزةَ اللاسلكية، العاملةَ في هذه النطق العليا، من توفير عرض نطاق آني من رتبة الجيگابتة في الثانية ضمن مناطق تغطية صغيرة جدا، تسمى «**الخلايا البيكوية**» picocells. ويمكن لهذه التقانة أن تكون مفيدة أيضا للمستخدمين المتنقلين بالسيارات الذين يتصلون معا على الطرقات العامة، أو للمشاة، أو للنظم اللاسلكية الثابتة ضمن الأبنية.

يقول <J .J. تساندر> [وهو مرجع في النظم الراديوية لدى المعهد الملكي للتقانة في ستوكهولم]: «ليس هناك شُح في الطيف الراديوي، بل نقص في بنية الاتصالات التحتية التي يمكن تحمُّل تمويلها.» فأبراج الهاتف الخلوي وقنوات الاتصال مع الشبكة الهاتفية العامة ونظم الفَوْتَرة[1] وغيرها، تمثل العُمُد الحقيقية الباهظة التكاليف الضرورية للطيف المستأجر[2]. ومنذ تسعينات القرن العشرين، مع تقلص حجم جهاز الهاتف الخلوي، من «هاتف حقيبة» بحجم الآجرة، إلى جهاز من الطراز Motorola Star Tac، ومنه إلى جهاز اليوم المتعدد الوظائف الذي هو بحجم المحارة، كان بناء وصيانة بنية تحتية مكرَّسة هوَ الطريقة الوحيدة المتبعة. لكنْ في بداية عام 2005، عرضت الشركة Vanu Inc. أول محطة قاعدية لنظام الاتصالات العالمية عن طريق الهاتف الخلوي GSM[3]، تَستخدم الراديو SDR، مع مبدل راديوي يجعل الإشارة الراديوية قابلة للمعالجة بوساطة حاسوب محمُول عالي الأداء من دون شاشة أو لوحة مفاتيح. قبل 5 سنوات فقط، كان مبدِّل كود المحطة GSM، ووحدةُ تكيُّف معدل البيانات، وحدهما يحتاجانِ إلى مخدِّم مستقل خاص بهما استطاعة تشغيله تصل إلى عدة كيلوواط.

(*) Free Spectrum Abounds

(1) billing system: هو نظام يتابع استخدام الزبون لخدمات الشبكة ويجهِّز فاتورته اعتمادا على سعر الخدمة. وقد اتسع مفهوم هذا النظام ليشمل وظائف أخرى، من قبيل إدارة الزبائن والتكامل مع كوى الدفع والتحليل الإحصائي لاستخدام الشبكة.

(2) الطيف الترددي هو ملكية عامة، ولذا تستأجره شركات الاتصالات الخاصة من الدولة في الكثير من البلدان.

(3) Global System for Mobile communications: وهو المواصفة القياسية للهاتف الخلوي الرقمي الذي اعتُمد في أوروبا بوصفه أمرا واقعا. وهو اليوم أهم المواصفات القياسية الدولية للجيل الثاني من الهاتف الخلوي التي تتيح خدمة التجوال الدولي. (التحرير)



بالتنقل عبر الطيف، سوف يُكمل الراديو الاستعرافي إرساله على الرغم من التداخل والعوائق الأخرى، وذلك بالقفز بين الترددات حين توفرها.

لكنْ أثناء تلك المدة، أدت التطورات في أشباه الموصلات إلى تخفيض تكلفة المحطة القاعدية لتصبح موقعا خلويا صغيرا يمكن تحمل نفقاته، إذ يمكنها اليوم أن تكون حاسوبا محمولا أو منزليا.

تغيُّرات في الهواء(*)

لقد بدلت ثورةُ تقانة الإلكترونيات الميكروية (الصغرية) والحاسوب الحدودَ الجوهرية لعتاديات hardwear الراديو أثناء العقد الماضي، مخفضة تكاليف البنية التحتية للنظم الخلوية إلى أقل من 1 في المئة من قيمتها السابقة. لكنْ تحسُّس أثر هذه التحولات في تقانة اللاسلكي المتقدمة وفي سوقها لم يبدأ إلا حاليا فقط.

في السنوات الأولى، كان التلفزيون التماثلي (الذي يستخدم عتادا مكرَّسا ونطاقا ترددیا عرضه 6 ميگاهرتز) أكبر مستهلك عملي للطيف الراديوي. أما اليوم، فإن التلفزيون الرقمي العالي الدقة ينقل بيانات بمعدلات تكافئ نحو 100 ميگابتة في الثانية ضمن نفس النطاق الترددي. من ناحية أخرى، يستطيع حاسوب محمول، يَستخدم معالج بنتيوم من الشركة إنتل، توليدَ صور وأصوات باستخدم برمجيات ونسخة مرقمنة من إشارة التلفزيون التماثلية، تؤخذ من وحدة تبديل راديوي. ووحدة التبديل هذه تقوم بتغيير التردد الحامل في الإشارة الراديوية من تردد راديوي عند الهوائي إلى تردد وسيط تستطيع شيپة مبدِّل تماثلي رقمي تحويله إلى صيغة يمكن معالجتها برمجيا. وبذلك يمكن لشيپات التبديل التماثلي الرقمي العالية السرعة أن تستغل مئات الميگاهرتز من الطيف الراديوي في آن واحد. وبعض هذه الشيپات مزود **بدارات نظم إلكتروميكانيكية ميكروية** MEMS microelectromechanical system - وهي أشباه موصلات تَستخدم تجهيزات ميكانيكية حجمها من رتبة الميكرون - لتحقيق مكثف تماثلي للترددات الراديوية يمكن تغيير سعته رقميا. إن بطاقات الترددات الراديوية القائمة على الدارات MEMS تستطيع، عند إنتاجها بكميات كبيرة، التعامل مع عشرات الميگاهرتز من الطيف الراديوي، في أي نقطة بين 30 و 5600 هرتز، بنفس ثمن هاتف اليوم الخلوي.

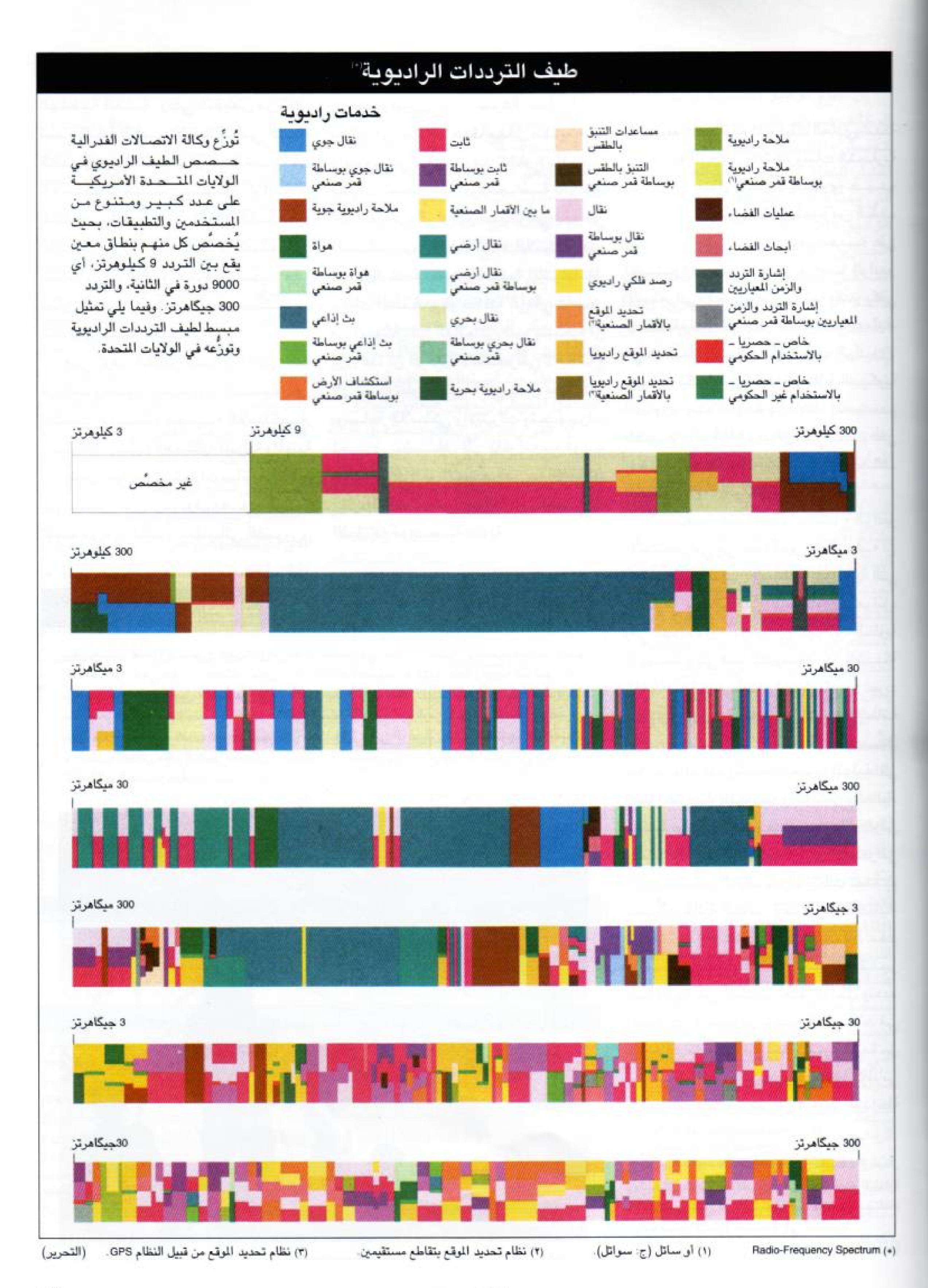
لقد كانت تجهيزات الترددات العالية المعتمدة على الدارات MEMS بطيئة في نزولها إلى الأسواق، لأن تكلفتها أعلى من تكلفة مجموعة شيپات الترددات الراديوية الثابتة الأقل مقدرة. لكن قرارا رسميا، أصدرته وكالة الاتصالات الفدرالية FCC في عام 2004، مثَّل نقطة تحول في تفضيل تطوير الراديو الاستعرافي، ووفَّر حوافز جديدة للمصنعين لاعتماد المنتجات من الدارات MEMS. وأوصت تلك الوكالة باستخدام تقانة الراديو الاستعرافي للشبكات الخاصة المنخفضة الاستطاعة ضمن نطق التلفزيون غير المستخدمة. لقد حرَّر هذا القرار أكثر من 100 ميگاهرتز لاستخدامها في منتجات الراديو الاستعرافي الخاصة ببيئات المدن السائدة. إن ظهور الدارات MEMS الراديوية، وقرارَ وكالة الاتصالات الفدرالية، توحَّدا معا للدفع باتجاه تشارك أكبر في الطيف في المستقبل القريب. فبالعمل في النطاقين المنخفض والمتوسط من الطيف الراديوي، يمكن لقناة واحدة أو لقناتين تماثليتين تَستخدمان الدارات MEMS الراديوية، تكوين شبكات خاصة قصيرة المدى في أي نطاق ترددي يوافق المستخدمون، المرخَّص لهم، على استئجاره أو التشارك فيه أو مقايضته مع آخرين بنطق ترددية أخرى.

لذا يمكن لبطاقة راديو استعرافي مزودة بدارات MEMS راديوية أن تحول من هاتف خلوي إلى شبكة لاسلكية محلية، أو من حاسوب محمول إلى هاتف خلوي، أو من هاتف لاسلكي إلى «برج» لخلية بيكوية. ومن مثل هذه الخلية البيكوية، يمكن لحاسوب منزلي، مزوَّد بنظام تحكم راديوي استعرافي، تأجير وقت الهواء إلى عابري السبيل، متقاضيا رسما مقابل نقل لاسلكي آمن للصوت والبيانات عبر مورد خدمة إنترنت مرتبط به.

إعادة تشكيل الشبكة اللاسلكية(**)

في نظم الهاتف الخلوي التقليدية، يقبع معظم الذكاء، الضروري للتشغيل الفعَّال، ضمن الشبكة. ومع أن التقانات الخلوية الحديثة تتسم بمقدرة أكبر على المعالجة، فإنها ليست في الواقع أكثر ذكاء بكثير من أسلافها. فالزبائن مازالوا يحتاجون إلى عقد يبرمونه مع مزود خدمة للحصول على

Changes in the Air (*)
Remaking the Wireless Web (**)



(*) Radio-Frequency Spectrum
(1) أو سائل (ج: سوائل).
(2) نظام تحديد الموقع بتقاطع مستقيمين.
(3) نظام تحديد الموقع من قبيل النظام GPS. (التحرير)

النفاذ إلى الشبكة، ومنها إلى الشبكة الهاتفية العامة. وعلى النقيض من ذلك، تضع تقانةُ الراديو الاستعرافي الذكاءَ الضروري للاتصال مع الشبكات اللاسلكية ضمن جهاز الراديو أو الحاسوب المحمول أو المذكِّرة الشخصية اللاسلكية. ولأن نظام التحكم الاستعرافي يحكم قدرات الراديو المعرَّف برمجيا، فإنه يمكن للجهاز كشف فرص التشبيك الراديوي حيثما وُجِدت.

وفي الوقت الحالي، تحتوي 90 في المئة من الحواسيب المحمولة الجديدة على إمكانات الشبكة المحلية اللاسلكية. والشبكات المحلية اللاسلكية المنزلية والمهنية وما يتصل بها من مستجدات ساخنة، تتكاثر على نحو أسي. وسوف يحوي الراديو الاستعرافي الذكاءَ العملياتي الضروري لاستئجار أو استعارة شبكة محلية لاسلكية، أو طيف راديوي آخر، بسرعة، مدة ثوانٍ أو دقائق في المرة الواحدة، مقابل «نقود طيف راديوي»، أيْ مقابل وعد مقطوع بإقراض قدرات الخلية البيكوية الخاصة بالراديو الاستعرافي إلى راديو استعرافي آخر في المستقبَل. ومن نقاط النفاذ اللاسلكي هذه إلى الإنترنت، يمكن لمزود خدمة الإنترنت نقل بيانات المستخدم أو مكالمته إلى أي شخص في أي مكان في العالم. إن المرء يستطيع أن يرى هنا أن الراديو الاستعرافي لا يحتاج إلى شبكة خلوية مكرَّسة كي يصل مستخدما بوساطة اللاسلكي والإنترنت بتجهيزات أخرى. يضاف إلى ذلك أنه مع توسع تفاعلات الراديو الاستعرافي مع الإنترنت اللاسلكية، تتلاشى الحاجة إلى عقد طويل الأجل مع مزود خدمة خلوية.

معرفة راديوية مكانية(**)

حينما يستخدم المستهلك العادي شبكة لاسلكية قائمة على الإلكترونيات التجارية الحالية، يبذل النظامُ قصارى جهده لاستهلاك أقصى ما يستطيع من الطيف الشحيح، مشوشا في الوقت نفسه على أجهزة الراديو المجاورة. أما الراديو الاستعرافي، فسوف يكون ذكيا بقدر يكفي لإدخال قواعد، أيْ إجراءات تبادلية عملية، في عمليات استخدام الطيف الراديوي. وسوف يكتشف بذكاء الخلايا البيكوية المجاورة، ويتعامل معها لإبقاء المستخدم متصلا بوساطة الوسائل التي تخدم على أفضل وجه حاجاته التي يمكن أن تختلف باختلاف الأوقات والظروف.

لتحقيق هذه المهام، يحتاج الراديو الاستعرافي إلى عدة أمور. أولا، عليه أن «يعرف» كيف تتغيَّر الاستطاعة الراديوية التي يبثها مع المسافة على الأرض، وبين العوائق، وفي الهواء فوق الأرض. إن الهواتف الخلوية لا تحتاج إلى هذه المعلومات، لأن الشبكة الثابتة تستخدم طيفا راديويا مكرَّسا جرت معايرته سلفا وفقا لأنماط إشعاع الطاقة الموجودة. أما الراديو الاستعرافي، فيتحسَّس بدلا من ذلك كامل البيئة الراديوية المحلية، في النطق الترددية المنخفضة والمتوسطة والعالية، واضعا مخططا لتغيُّر خصائصها بدلالة الزمن والمكان والتردد. إن تطوير الراديو الاستعرافي الذي يتحسَّس الطيف سوف يتطلب تصميم محسَّات عالية الجودة، وخوارزميات عملية، بهدف تبادل بيانات رصد الطيف بين عقد الاتصالات المتعاونة. أما النظم التي تتميز باحتوائها على إمكانات تعدُّد الداخل وتعدُّد الخارج[1] فسوف توجه الإرسالات في مسارات متعددة معقدة - مستفيدة من انعكاسات الإشارة عن أشياء مختلفة كالمباني والآليات - وتستبعد الإرسالات المتداخلة

جميع قنوات الاتصالات، جميع الأوقات(*)

يمكن ضمان اتصالات مسرح المعركة، وهي مفتاح للنصر في الحرب الحديثة، باستخدام تقانة الراديو الاستعرافي. ففي حين أن مختلف القوى ونظم الأسلحة تستخدم اليوم نظما راديوية قد تكون غير متوافقة، فإن تقانة الجيل القادم من الراديو الذكي يمكن أن تساعد القادة العسكريين على البقاء على صلة بآخر مستجدات الموقف في منطقة القتال، بوساطة وصلات في الزمن الحقيقي للصوت والصورة والبيانات تصل جميع القوى الصديقة معا على نحو موثوق، على الرغم من التداخل الناجم عن الضباب أو الحرب. ويمكن لنظم الراديو العسكرية المستقبلية استخدام تقانة الراديو الاستعرافي لإبقاء هذه الاتصالات الحاسمة حية.



(*) All Communications Links, All the Time

(**) Spatial Radio Knowledge

(1) multiple-input/multiple-output: وهي تقنيات إرسال واستقبال حديثة يُستفاد فيها من تعدد نسخ الإشارة ذاتها، التي تصل إلى المستقبل عبر مسارات مختلفة، لزيادة نسبة الإشارة المستقبَلة إلى الضجيج.
(التحرير)

المحتملة من أجهزة راديوية أخرى.

إن نظام الراديو الاستعرافي الكامل الوظائف سوف يكون ذكيا بقدر يكفي لتحسس «المشهد» الراديوي المحلي، ومن ثَمَّ اختيار النطاق الترددي ونمط العمل والخدمة التي يحتاج إليها، إضافة إلى تحميل بيانات الراديو SDR ذات الصلة بالنطاق والنمط المختارين؛ ويوجه بعدئذ طاقة الإرسال نحو المستقبل المقصود محققا في الوقت نفسه تداخلا أصغريا مع الأجهزة الأخرى، ومنها الاستعرافية. وبذلك يبدي مستوى عاليا من التنسيق الترددي الذي يحقق للمستخدم خصوصية الاتصال وأمنه.

ويمكن تحسين دقة هذه العمليات ببناء نماذج حاسوبية ثلاثية الأبعاد لكامل المشهد المحلي للمدينة تُخزن على أقراص صلبة سعتها من رتبة الجيكابايت، ويمكن النفاذ إليها لاسلكيا حسب الحاجة. إن التنبؤات بشدة الإشارة المستقبلة اعتمادا على هذه النماذج سوف تتيح لنظم الراديو الاستعرافي تجنب معظم التداخل. وبتوافر قنوات بث متفق عليها ـ تستطيع أجهزة الراديو الاستعرافي استخدامها في «الشكوى» من التداخل من دون التشويش على سواها ـ يمكن إغلاق حلقة القواعد الراديوية.

لكن ما يعقِّد فكرة قواعد الراديو الاستعرافي هو تغيُّر التداخل الإجمالي، الناجم عن البيئة، مع الزمن. إن ذلك التداخل يتضمن الضجيج الكهربائي الطبيعي (البرق)، وضجيج مولدات الطاقة الكهربائية، والمحركات الكهربائية، ونظم الإشعال في محركات السيارات، إضافة إلى إرسالات الأجهزة الراديوية. إن أثر هذه المصادر (المنابع) الراديوية يتغير مع الزمن. ففي الليل، مثلا، يكون عدد المصاعد العاملة صغيرا، ولذا تولد محركاتها الكهربائية ضجيجا قليلا. أما في وقت الازدحام، فيصبح ذلك الضجيج قويا. إن الطاقة الكلية التي تشعها تلك المصادر تكون أعظمية في مراكز المدن، وعند الساعة 10 صباحا تقريبا، وتكون فعاليتها أقل في المناطق الريفية، وفي الليل. ومع أن التعقيد الإحصائي لآثار مجمل هذه المصادر يجعل التنبؤ بها صعبا، فإن الراديو الاستعرافي سوف يتعلم أنماطها في المواقع المهمة (كمكان العمل والبيت) لمستخدمين معروفين.

مستقبل الراديو الذكي[*]

بعد تحديد أنماط تغيُّر الطاقة في كل نطاق، سوف تكون تجهيزات الراديو الاستعرافي قادرة على استخدام التقانة[1] [انظر: «الوب الدلالي»، العلوم، العددان 12/11 (2002)، ص 56] بغية تبادل تلك المعلومات مجانا مع الآخرين. فتلك المعلومات تساعد على استمثال عملية بحث كل وحدة عن طيف قليل الاستخدام يمكن استئجاره. وبهذا يمكن للراديو الاستعرافي تجنب التشويش على المستخدمين الآخرين، مع الإبقاء على بث استطاعة كافية لتجاوز التداخل المحيطي وتحقيق التعاون الخلاق.

إن القرارات التي تحكم مستقبَل تقانة الراديو الاستعرافي هي قيد التبلور حاليا، من خلال الصراع القائم بين قطاعي أعمال عملاقين: صناعة الهاتف الخلوي والاتصالات من ناحية، و«صناعة الإنترنت» من الناحية الأخرى ممثلة بالشركات Microsoft و Intel و Google ومزودي خدمة الإنترنت وشركات الحاسوب الاستهلاكي. ومع أن المصالح الذاتية الراسخة قد تقاوم تقانة الراديو الاستعرافي، فإن التقدم باتجاهها يبدو ممكنا، لأنها تتجنب الفوضى وعدم المرونة النسبيين في استخدام النطق الراديوية غير المنظمة (من قبيل تلك المستخدمة في تجهيزات القياس والتجهيزات العلمية والطبية). وفي نهاية المطاف، سوف تحيل قواعد التشغيل الذكية القائمة على تقانة الراديو الاستعرافي جيكاهرتز من الطيف القليل الاستخدام إلى وسط اتصال عريض النطاق لكثير من المستخدمين.

وإذا استمر مشرِّعو وكالة الاتصالات الفدرالية في المسار الحالي، فإنهم سوف يحوِّلون نطق الطيف العريضة الوحيدة الاستخدام، إلى مئات من النطق، التي عرض كل منها من رتبة الميگاهرتز، والمتاحة للاستخدام التشاركي. إن شح الطيف الراديوي الذي ساد مدة طويلة، قد يحل محله فيض من الترددات المتاحة. وعوضا عن أن يحتاج هاتف خلوي إلى دقيقة لتحميل صورة مضغوطة حجمها من رتبة الميگابكسل[2]، قد يستطيع أن يتعامل مع عشر صور من هذا القبيل في الثانية.

وتماما كما قاد انبثاق تقانة الهاتف الخلوي إلى نتائج اجتماعية ومهنية كثيرة، فإن اعتماد الراديو الاستعرافي سوف يبعث على تغيرات مشابهة، ترافق استغلال التجهيزات المتقدمة للشبكة اللاسلكية لتحل محل الهواتف الخلوية التي أصبحت الآن قديمة إلى حد ما. إن نمو الراديو الاستعرافي سوف يستغرق وقتا، لكن تأثيره في حياتنا جميعا سوف يكون كبيرا. ■

(*) The Future of Smart Radio

(1) الشبكة Semantic Web هي مشروع يهدف إلى إعطاء محتوى الوثائق في شبكة الإنترنت معنى مفهوما للآلة، بغية الاستعاضة بالآلة عن الإنسان في البحث عن المعلومات.

(2) pixel، أي عنصر صورة (عنصورة)، ويتمثل بنقطة واحدة منها. (التحرير)

المؤلف

Steven Ashley

عضو هيئة تحرير مجلة ساينتفيك أمريكان.

مراجع للاستزادة

Cognitive Radio Shows Great Promise. Bruce Fette in *COTS Journal;* October 2004. **www.cotsjournalonline.com/home/article.php?id=100206**

Berkeley Wireless Research Center Cognitive Radio Workshop, November 1, 2004. **bwrc.eecs.berkeley.edu/Research/MCMA/**

Cognitive Radio Architecture. Joseph Mitola III. John Wiley & Sons, April 2006.

European Community's End-to-End Reconfigurability (E2R) radio project: **phase2.e2r.motlabs.com**

Joseph Mitola's Web site is at the KTH (Royal Institute of Technology, Sweden): **www.it.kth.se/~jmitola**

Software Defined Radio Forum: **www.sdrforum.org**

Scientific American, March 2006

أهداف جديدة محددة للأدوية[*]

هناك صنف مألوف من مُسْتَقْبِلات سطح الخلية[1] يفضي إلى عرض منظومة من الاستهدافات الحديثة التي يمكن أن تفسح المجال أمام معالجات جديدة لاضطرابات تراوح من عدوى ڤيروس العَوَز المناعي البشري[2] حتى السِّمنة[3].

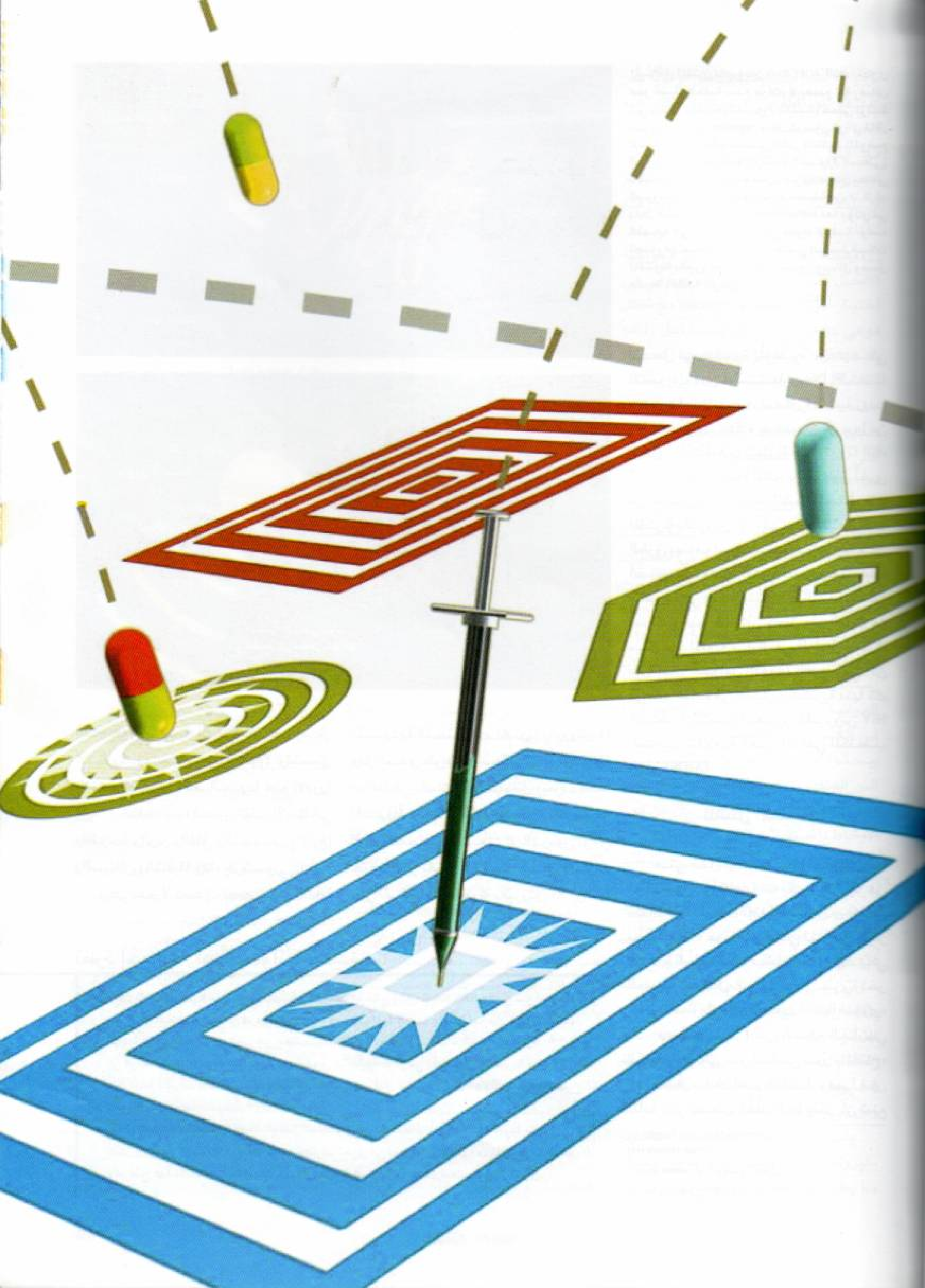
<T. كيناكين>



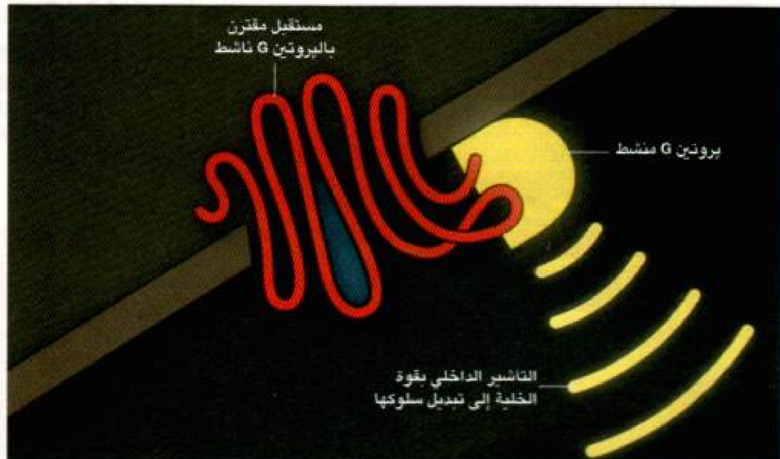
يتميز جزء لا يستهان به (تقريبا النصف) من الأدوية الموصوفة اليوم بتشابه مذهل على المستوى الجزيئي. وتؤثر هذه الأدوية في النمط نفسه للهدف target: **بروتين مُـتَطَوٍّ** serpentine protein يتموج سبع مرات عبر الغشاء الذي يغلف الخلية. الأجزاء الخارجية لكل **مُتَطَوِية (حَيَّة)** serpent تخدم **كقرن استشعار** antena **للإشارات** signals الجزيئية التي تقترب من الخلية، في حين تطلق الأجزاء الداخلية زناد الاستجابات لمثل هذه الإشارات، حيث تكون البداية تنشيط **مُعالج الإشارة** signal processor الذي يدعى البروتين G. وهكذا تُعرف المتطويات هي نفسها بأنها **المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G** G-protein coupled receptors (GPCRs).

تبدي المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs)، كمجموعة بحد ذاتها، إمكانية للاستعمال المتعدد الجوانب أكثر من أي صنف آخر من مُسْتَقْبِلات سطح الخلية. وفي هذا الإطار، يراوح حجم الجزيئات الطبيعية التي ترتبط بالمُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G، من حجم **النواقل العصبية** neurotransmitters (التي تعد كتلتها أكبر بعدد قليل من المرات من كتلة ذرة كربون مفردة) حتى البروتينات (التي تعد أكبر بـ75 مرة من ذلك). إضافة إلى ذلك، تُسهم المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G في جميع وظائف الجسم التي تديم الحياة، من ضربات القلب والهضم إلى التنفس والنشاط الدماغي. وتُعد الأدوية التي تستهدف هذه المُسْتَقْبِلات متنوعة بمقدار تنوعها. وتشمل القائمة خافضات ضغط الدم (مثل البروپرانولول propranolol) ومضادات حموضة المعدة (مثل الرانيثيدين ranitidine) وموسعات القصبات (مثل البوتيرول

(*) NEW BULL'S-EYES FOR DRUGS
(1) cell-surface receptors
(2) HIV infection
(3) obesity







المُستَقْبِل المقترن بالبروتين G (GPCR)، الذي يتطوى عبر غشاء الخلية سبع مرات، لا يصدر أية رسائل إلى داخل الخلية (*الصورة العليا*) حتى يرتبط جزيء مُؤشِّر signaling، مثل هرمون أو أي ناقل عصبي، بمنطقة تسمى المقر الناشط (الموضع الفعال). ويسبب هذا الارتباط (*الصورة السفلى*) بالمُستَقْبِل تنشيط (تفعيل) جزيء معين يسمى البروتين G، الذي يطلق بدوره سلسلة من التآثرات داخل الخلية intracellular interactions مما يؤدي في النهاية إلى إحداث تبدل في سلوك الخلية. وثمة تصورات جديدة للعمل الوظيفي للمُستَقْبِلات المقترنة بالبروتين G توحي بظهور وسائل وسُبُل جديدة لمعالجة المرض.

albuterol) ومضادات الاكتئاب (مثل الباروكسيتين paroxetine). وتشمل الاضطرابات التي تعالجها هذه الأدوية ارتفاع ضغط الدم وقصور القلب الاحتقاني والقرحة والربو والقلق والتحسس (الأرج) والسرطان والشقيقة وداء باركنسون.

وعلى نحو لا يصدق، تعمل جميع الأدوية المستهدفة للمُستَقْبِلات المقترنة بالبروتين G وفق إحدى طريقتين ـ فهي إما أن ترتبط بمنطقة قرن استشعار للمُستَقْبِل (يُعرف أيضا باسم المقر الناشط[1]) وتحاكي بذلك تأثير الناقل العصبي الطبيعي، أو الهرمون أو أي جزيء آخر يعطي على نحو طبيعي إشارات عبر المُستَقْبِلات المقترنة بالبروتين G، أو أنها تتدخل في مقدرة **المُؤشِّر**[2] signaler على التأثير في قرن الاستشعار. خلال الخمسة عشر عاما الماضية، ثمة ثورة تقانية زودت الباحثين بعيون جديدة يستطيعون أن يروا من خلالها المُستَقْبِلات المقترنة بالبروتين G أثناء العمل الوظيفي. وتبعا لذلك، بزغت طرق أخرى من **منابلة** manipulating أنشطة المُستَقْبِلات المقترنة بالبروتين G. وقد بدأ استثمار هذه الطرق بهدف استكشاف الدواء. وبكلمات أخرى، رغم وفرة الأدوية المعروفة سابقا بتأثيرها في هذه المُستَقْبِلات الساحرة، ثمة عدد كبير منها قد يكون كامنا. وإن البحث عن مثل هذه الأدوية مازال في المراحل المبكرة، لكن هناك **عوامل** (**أدوية**) agents، هي الآن في طور متقدم في التجارب البشرية منها تلك الخاصة بالإصابة بعدوى الڤيروس HIV المسبب لُمتلازِمة العَوَز المناعي المُكتسب الإيدز (AIDS).

للشكل أهمية[**]

حتى قبل نحو 10 سنوات، اعتقد الباحثون عن الأدوية أنه بغية التأثير في نشاط المُستَقْبِلات المقترنة بالبروتين G كان يجب البحث عن الأدوية التي تؤثر في المقر الناشط للمُستَقْبِل. فأثناء العمل الطبيعي للجسم، ثمة ناقل عصبي أو أي جزيء آخر حامل للمعلومات (أو «**نَجِين**» ligand، جزيء يلتحم بجزيء آخر) على السطح الخارجي للخلية يقوم على نحو أساسي بدور «**المفتاح**» key «**لقُفْل**» lock المقر الناشط. وهكذا فإن المادة التي تحجب القُفْل lock يمكن أن تمنع

(*) Overview/New Drug Targets
(**) Shape Matters
(1) active site، أو الموضع الفعال.
(2) جزيء يعطي إشارات.

نظرة إجمالية/ أهداف دوائية جديدة[*]

- **تنقل البروتينات التي تسمى المُستَقْبِلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs) والتي تتوضع على سطح الخلية، إشارات من هرمونات معينة ومشابهاتها إلى داخل الخلية من خلال تنشيط (تفعيل) البروتينات G؛ التي هي مُعالِجات للإشارة تقع تحت غشاء الخلية مباشرة.**
- **إن قُرابة نصف الأدوية الموجودة في السوق التجارية تؤثر في المُستَقْبِلات المقترنة بالبروتين G، بالارتباط بالمقرات sites المستهدفة بشكل طبيعي من قبل المؤشرات signalers البرانية (الخارج خلوية) والخاصة بالجسم.**
- **خلال السنوات العشر الماضية، توصل الباحثون إلى أن نشاط المُستَقْبِلات المقترنة بالبروتين G يمكن أن يُحَوَّر بوساطة مركبات ترتبط بمقرات أخرى في بنية تلك المُستَقْبِلات المقترنة بالبروتين G. وقد فتح هذا الاكتشاف إمكانيات جديدة لمعالجة السرطان واضطرابات رئيسية أخرى.**

مرور أية إشارات (إيعازات) غير مرغوبة عبر المُسْتَقْبِل بوساطة أي مفتاح كان، فتقوم هذه المادة بدور **مثبِّط** inhibitor. وعلى العكس، فإن الشيء الذي يحاكي **اللَّجين الطبيعي** natural ligand يمكن أن يفتح القُفل، ومن ثم أن يأخذ مكان المفتاح الطبيعي إذا كان هذا المفتاح غير موجود.

وهكذا اعتقد العلماء أن الطريقة الأفضل لإثارة استجابة فيزيولوجية هي في اختيار مركب **يتآثر** interaction مع **شكل نوعي** specific form لأي مُسْتَقْبِل ولكنه يتجاهل **المتغيرات** variants الأخرى [الأشكال الأخرى لهذا المُسْتَقْبِل]. مثلا، ينشِّط الناقل العصبي «النورإيفدرين» نمطين من المُسْتَقْبِلات المقترنة بالپروتين G التي تسمى **المُسْتَقْبِلات الأدرينالية** adrenoceptors ألفا وبيتا، حيث يكون للأولى أربعة **نُمَيطات** subtypes وللثانية ثلاثة. وبدورها تقوم هذه المُسْتَقْبِلات المتنوعة بالسيطرة على العديد من العمليات الداعمة للحياة. ففي مستوى القلب، تسرِّع المُسْتَقْبِلات الأدرينالية بيتا$_1$ معدل سرعة القلب وتزيد قوة كل **ضربة** beat؛ وفي مستوى الرئتين، توسِّع المُسْتَقْبِلات بيتا$_2$ المسالك الهوائية. ولهذا، بغية فتح المسالك الهوائية من دون أية تأثيرات غير مرغوبة في القلب، يمكن لصانعي الأدوية أن يبحثوا عن عامل (دواء) يحاكي مقدرة النورإپينفرين norepinephrine بتنبيه المُسْتَقْبِلات الأدرينالية بيتا$_2$ لكن من دون الارتباط بالمُسْتَقْبِلات الأدرينالية بيتا$_1$.

فعليا، يعمل العديد من الأدوية مثبِّطات أو **ناهضات** agonists (**محاكيات** mimics) من خلال التآثر مع المقر الناشط لأحد المُسْتَقْبِلات المقترنة بالپروتين G النوعية، لذا فإن أي استراتيجية خاصة لتطوير الدواء سوف يجب عليها أن تتعامل مع **الطبيعة «المتفارغة»**[1] allosteric nature للمُسْتَقْبِلات المقترنة بالپروتين G: إن شكل shape أحد أقسام المُسْتَقْبِل يمكن أن يؤثر في **الهيئة الحيِّزية (البنية الفراغية)** conformation، ومن ثم في نشاط قسم آخر بعيد عنه.

باستمرار تتخذ المُسْتَقْبِلات المقترنة بالپروتين G أشكالا مختلفة نوعا ما، مشكلة ما يطلق عليه **مكتبة الهيئات** library of conformations. فعندما يرتبط أي جزيء مُؤشِّر بالمقر الناشط، فإنه يثبِّت التراتبية التي تفعل الپروتينات G. ولكن ظهر أن بعض الجزيئات، المعروفة **بالمُحوِّرات المتفارغة** allosteric modulators، تستطيع أن ترتبط في مكان آخر فتؤثر في **الشكل** form **والنشاط** activity. يثبت البعض منها (الجزيئات) أشكال المُسْتَقْبِلات المقترنة بالپروتين G التي تعزز **التأشير** signaling، في حين تقوم جزيئات أخرى بتثبيت الأشكال التي تعوق التأشير (على سبيل المثال يمكن أن يتحقق ذلك من خلال طمر المقر الناشط، بحيث يتعذر على **لَجينه** ligand الطبيعي الوصول إليه).

تُعد **نتائج** implications هذا الأمر عميقة. فالمُسْتَقْبِل الكامل يستطيع نظريا أن يقدم مواضع ارتباط، بحيث يمكن لجزيء شديد الصِّغَر أن يثبت شكلا معينا يمكنه أن يعطي تأثيرا بيولوجيا. وهذه الخاصيِّة توسِّع على نحو كبير أفق **التعديلات العلاجية** therapeutic modification لوظيفة المُسْتَقْبِلات المقترنة بالپروتين G.

يُعدُّ الباحثون في مُتلازِمَة العَوَز المناعي المكتسب (الايدز) من بين أولئك الذين يتابعون على نحو فعال المدى المحتمل للمحوِّرات المتفارغة، إذ يحاولون إيجاد تلك المحوِّرات القادرة على **إحصار** block فيروس العَوَز المناعي البشري ومنعه من **إعداء (إخماج)** infecting الخلايا. لقد عرف البيولوجيون قبل أمد طويل أن الفيروس يهاجم الخلايا التي تسمى **اللمفاويات التائية المساعدة** helper T lymphocytes من خلال الالتصاق بپروتين يوجد على سطح الخلية يسمى CD4. لكن هؤلاء الباحثين توصلوا في التسعينات إلى أن هذا الپروتين لم يكن يعمل بمفرده.

فبغية دخول الخلايا، يجب على الفيروس أيضا أن يرتبط **بمُثبِّت** anchor إضافي: مُسْتَقْبِل مقترن بالپروتين G يُعرف باسم CCR5 [أو في **مرحلة العدوى** infection المتأخرة، ثمة مُسْتَقْبِل مقترن بالپروتين G يدعى CXCR4). وعادة ما يستجيب المُسْتَقْبِل CCR5 إلى أيٍّ من **المنشطات الكيميائية (الكيموكينات)** chemokines الثلاثة، التي هي إشارات طبيعية تستطيع جذب خلايا الجهاز المناعي إلى مقر العدوى؛ ولكنه لسوء الحظ، يقدم أيضا **صنّارة** hook لپروتين غلاف الفيروس

الأدوية المُسوَّقة تجاريا والتي تعمل على المُسْتَقْبِلات المقترنة بالپروتين G(*)

تعد الأدوية المذكورة أدناه عينة فقط من المركبات المسوقة تجاريا والتي تستهدف المُسْتَقْبِلات المقترنة بالپروتين G؛ إنها تعمل على مُسْتَقْبِلات متنوعة.

الاسم التجاري (الاسم الجَنيس) والشركة الصانعة	التأثير
Allegra (fexofenadine) Aventis	يُحصر فعل الهيستامين، من أجل مكافحة الاستجابات التحسسية (الأَرَجية)
Duragesic (fentanyl) Janssen	يفرِّج الألم
Flomax (tamsulosin) Boehringer Ingelheim	يخفف أعراض الپروستاتة المتضخمة
Imitrex (sumatriptan) GlaxoSmithKline	يخفف ألم الشقيقة (الصداع النصفي)
Lopressor (metoprolol) Novartis	يخفض الضغط الدموي
Oxycontin (oxycodone) purdue	يفرج الألم
Pepcid (famotidine) Merck	يضاد حموضة المعدة
Phenergan (promethazine) Wyeth	يُحصر الهيستامين
Serevent (salmeterol) GlaxoSmithKline	يفتح المسالك الهوائية
Singulair (montelukast) Merck	يكافح التهاب المسالك الهوائية
Sudafed (pseudoephedrine) Pfizer	يخفف احتقان الأنف
Zantac (ranitidine) GlaxoSmithKline	يضاد حموضة المعدة
Zyrtec (cetirizine) Pfizer	يُحصر الهيستامين
Zyprexa (olanzapine) Eli Lilly	يخفف أعراض الذُّهان المتعددة

(*) Marketed Drugs Acting on GPCRs

(1) وجود نُمَيطات عديدة لأحد الپروتينات، أو لأي **ركيزة** substrate يؤدي التفاعل مع أحدها إلى تعديل فعالية الپروتين أو وظيفته. (التحرير)

مسارات عديدة للهجوم(*)

تستهدف معظم الأدوية المتوافرة في الأسواق التجارية المقر الناشط لبعض مُستقبِلات سطح الخلية، والعديد من هذه الأدوية يستهدف المقر الناشط لمستقبل مقترن بالبروتين G نوعي *(في الأسفل)*. وكذلك فإن الجزيئات molecules الفاعلة في المناطق خارج المقر الناشط تستطيع أيضا أن تؤثر في نشاط المستقبل المقترن بالبروتين G *(في اليسار)*. وثمة دراسات حديثة عززت الأمل بأن الجزيئات الصغيرة التي تستهدف تلك المقرات الإضافية يمكن إعطاؤها بغية تنشيط أو تهدئة المستقبلات المقترنة بالبروتين G المكثفة في أمراض متنوعة.

الأدوية المعيارية



الأدوية التي تؤثر في المستقبلات المقترنة بالبروتين G تتناسب حاليا في أغلب الأحيان مع المقر الناشط، فهي إما أن تحاكي تأثير الجزيء المؤشر الطبيعي *(في اليسار)* أو تمنع المؤشر الفطري native signaler من الارتصاف مع المستقبل ومن ثم من التأثير في الخلية *(في اليمين)*.

المحورات المتفارغة

محورات متفارغة

مستقبل مقترن بالبروتين G عاطل (غير فعال)

مقر ناشط غير متاح

هذه العوامل تُرسخ هيئة conformation كل مستقبل مقترن بالبروتين G (GPCR) بطريقة تعزز (غير ظاهرة) أو تنقص *(الأعلى)* نشاط المستقبل، وذلك بجعل المقر الناشط غير متاح للجزيء المؤشر signaling molecule.

(gp120). ففي الواقع، يبدو حاليا أن المستقبل CCR5 هو لاعب مركزي في الإصابة بعدوى فيروس العَوَز المناعي البشري؛ فالأشخاص الذين تفتقر بنيتهم الوراثية إلى الشكل الوظيفي لهذا المُسْتَقْبِل ينزعون ليكونوا مقاومين بشكل غير اعتيادي لفيروس العَوَز المناعي البشري.

وهناك محوِّرات متفارغة عديدة تمتلك المستقبل CCR5، إلا أنه شكل غير ملائم للارتباط بالبروتين gp120 الخاص بفيروس العَوَز المناعي البشري، وقد بلغت هذه المحورات مرحلة التجارب البشرية. إن إحصار تآثر **المُعَقَّد** gp120-CCR5 complex بإعطاء هذه الأدوية البالغة الصِّغَر يُعد إنجازا مشابها، في المضاهاة الجيوفيزيائية، إلى جزيرة بحجم جزيرة فيجي Fiji تمنع التقاء جزيرتين بحجم أستراليا معا. وبمعنى مجازي أكثر، إذا كانت مثل هذه الأدوية بحالة العمل فإنها ستكون بمثابة <ديڤيد> الذي يتغلب على **العملاق** Goliath.

ما وراء ضبط الشدة(**)

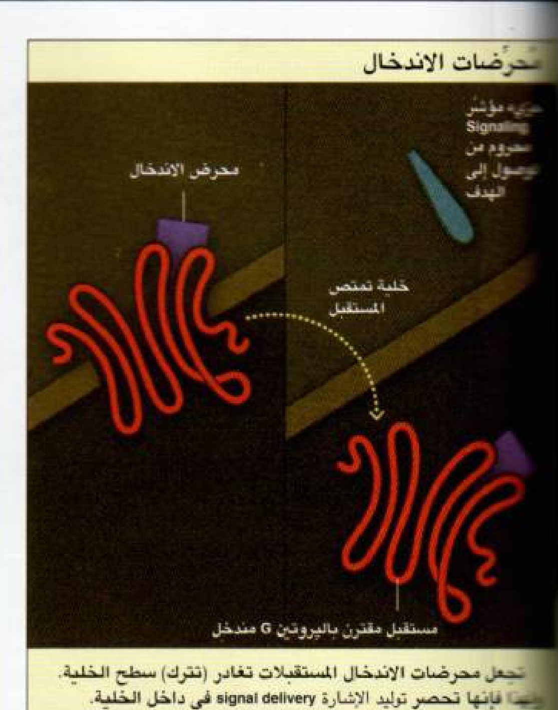
تعتمد التأثيرات التي تنتجها المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs) ليس فقط على الجزيئات الخارجية التي ترتبط بها، بل أيضا على عدد **نُسَخ** copies المُسْتَقْبِلات السهلة المنال على سطح الخلية. وبقدر ما هو متوقع، عندما ترتبط المؤشرات من خارج الخلية بالعديد من نُسخ أي مُسْتَقْبِل، تتلقى الخلية عندئذ رسالة «أشد»، وتخضع إلى تبدل أكبر في سلوكها مما هي الحال عندما يكون عدد قليل من نُسخ هذا المُسْتَقْبِل مرتبطا. لكن عدد المُسْتَقْبِلات يمكنه أن يفعل أكثر مما هو متعلق بضبط الارتفاع أو الشدة. إنه يستطيع فعلا أن يؤثر في أي من أنواع البروتينات G العديدة الذي يُصبح مُنَبَّها، ومن ثم يمكنه تنشيط المسالك البعيدة (**شلال التآثرات الجزيئية** cascade of molecular interactions) داخل الخلية.

توجد البروتينات G في أربعة أصناف رئيسية، مع وجود نُمَيْطات في كل صنف. ولكل منها نزعة مختلفة للعمل مع أي مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G معين. ومن جهته فإن أي مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G قد لا يكون ناشطا على نحو متعادل تجاه جميع البروتينات G. وهكذا فإن محتوى قليلاً لمُسْتَقْبِل معين سيؤدي إلى تنشيط البروتين G الأكثر حساسية له فقط، في حين يؤدي توافرٌ أكبر لهذا المُسْتَقْبِل إلى استجابات من العديد من البروتينات G، وهذا قد يثير سلوكا خلويا مختلفا.

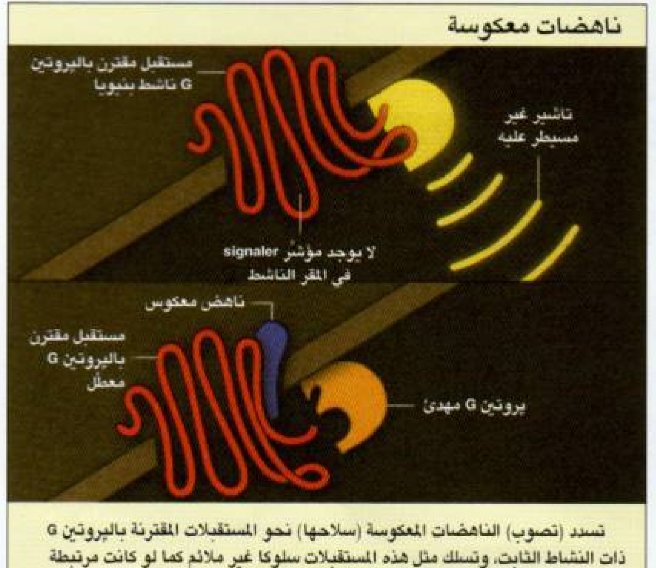
وتبعا لذلك، لن يُرى أي مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G مُعيَّن على أنه فقط مفتاح **وَصْلَة مفصلية** toggle switch قد وُضع قيد العمل بتأثير أي هرمون أو أي ناقل عصبي وأوقف عن العمل عندما تنفصل الإشارة الطبيعية عن مقر ارتباطه، فهو وحدة معالجة معلومات مُعقدة.

نظريا، يمكن أن يتولد تنوع في طُرز استجابات أي مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G

(*) Many Avenues of Attack
(**) Beyond Volume Control



تجعل محرضات الاندخال المستقبلات تغادر (تترك) سطح الخلية. ولهذا فإنها تحصر توليد الإشارة signal delivery في داخل الخلية.



تسدد (تصوب) الناهضات المعكوسة (سلاحها) نحو المستقبلات المقترنة بالبروتين G ذات النشاط الثابت، وتسلك مثل هذه المستقبلات سلوكا غير ملائم كما لو كانت مرتبطة بأحد المنبهات حتى لو لم تكن كذلك (في الأعلى). إن ارتباط الناهض المعكوس يهدئ التأشير signaling (في الأسفل). تمتلك الخلايا السرطانية غالبا أعدادا كبيرة من المستقبلات الناشطة بنيويا التي يمكن لها نظريا دعم انقسام الخلية غير المسيطر عليه. ولهذا، يمكن للناهضات المعكوسة أن تصبح على نحو كامن شكلا جديدا لمعالجة السرطان.

اعتمادا على كل من مجال **اللَّجائن** ligands الذي يستطيع اكتشافه وعلى مزيج أنواع البروتين G الذي يستطيع تنشيطه. على سبيل المثال، إذا استطاع أي مُسْتَقْبِل أن يكتشف أيا من الإشارات الثلاث المختلفة واستطاع أن ينشط واحدا أو اثنين أو ثلاثة أو جميع البروتينات G الرئيسية الأربعة (كما هي حالة المُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G الذي يستجيب للثيروتروبين thyrotropin: هرمون **الغدة النخامية** pituitary الذي ينبه الغدة الدرقية)، فإن المُسْتَقْبِل يكتسب **المقدرة (السعة)** capacity النظرية على إظهار عشرات من أشكال السلوك، في كل مرة: في حين أنه لو كان [المُسْتَقْبِل] يُرى على أنه مفتاح وَصْلَة مفصلية، فلن يكون له إلا وظيفتان[1] فقط.

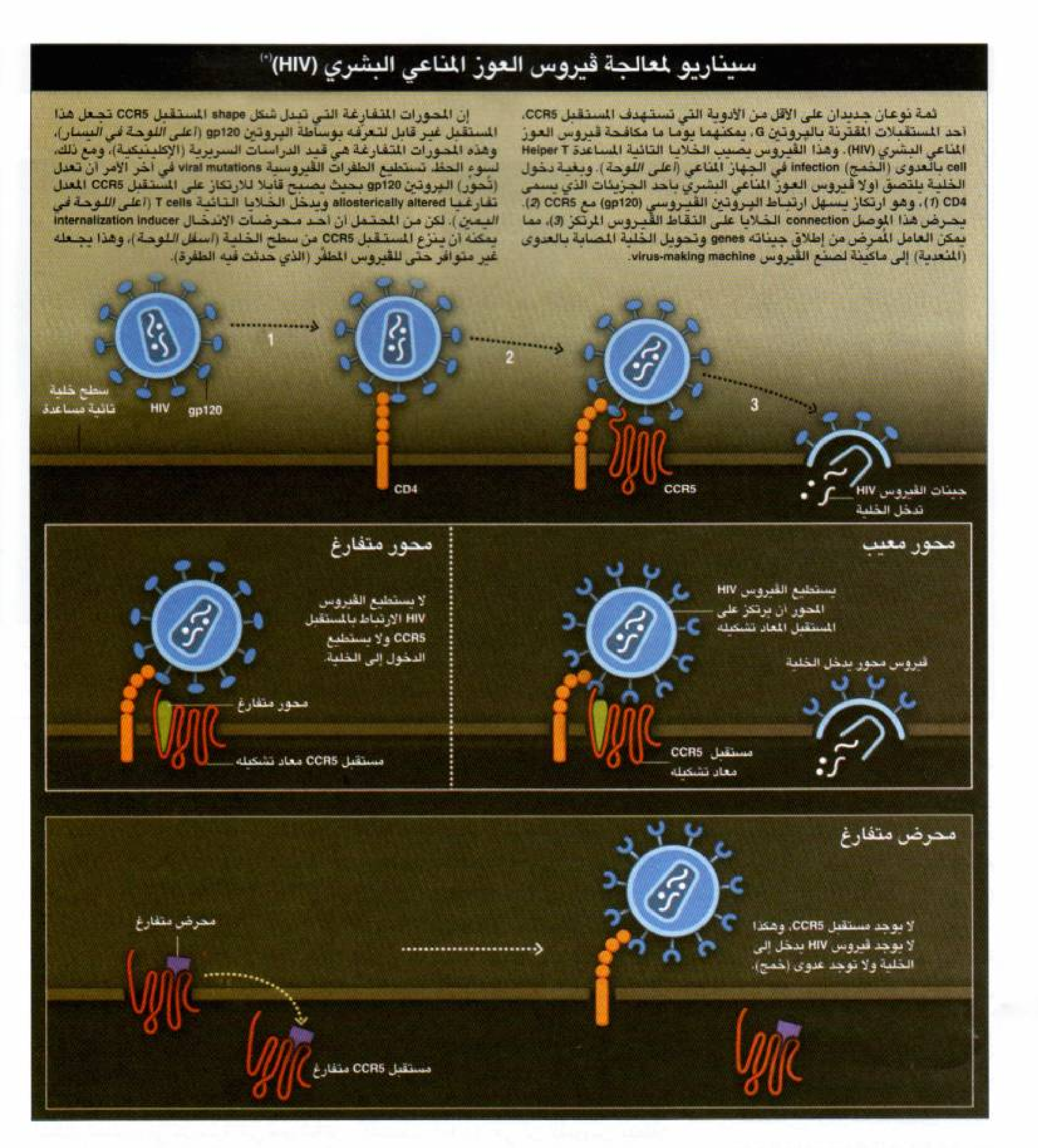
وتوضح الأبحاث أيضا أن الأدوية تستطيع الاستفادة من هذا التعقيد في وظيفة المُسْتَقْبِل. فيمكن لمواد معيّنة أن تُمكّن المُسْتَقْبِل من أن يمتلك أشكالا مختلفة ناشطة بيولوجيا، يمكن لكل منها أن يتآثر مع بروتين G مُعيّن أو مع توليفة من بروتينات G، وهذا يطلق الزناد لبدء نشاط سُبل ومسالك خلوية متشعبة. ويجب أن تُعطي قيمة كبيرة أيضا للعوامل (الأدوية) التي تجعل الخلايا تزيد أو تنقص كمية المُسْتَقْبِلات على سطحها، بدلا من تعديل نشاط المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G بحد ذاته.

يمكن متابعة هذه الاستراتيجية الأخيرة لأجل مكافحة فيروس العَوَز المناعي البشري. وإحدى المشكلات التي يمكن أن تنشأ عن التعويل على المحوِّرات التفارُغية لمنع بروتين الغلاف الفيروسي من إيجاد مقر ارتصافه على المستقبل CCR5، هي أن الفيروس **يتطفّر** mutate على نحو سريع. وقد تقود إمكانية **التطافر** mutability هذه إلى تخليق **بروتين غلاف** coat protein يمكن أن يرتبط بمستقبل CCR5 **مُبدَّل تفارُغيا** allosterically altered. وثمة طريقة معقولة لتجنب هذا التهديد، تكمن في التخلص من هذا المُسْتَقْبِل من سطح الخلية، وهكذا يُحرم الفيروس من نقطة هجومه.

وبالمقارنة مع المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G الأخرى جميعها، فإن المستقبل CCR5 تُخلِّقه الخلية على نحو لا نهاية له، ويستقر على السطح ثم ينسحب إلى الداخل **للتدرُّك (للتقوض)** degradation أو **للتدوير** recycling. وهناك بعض المنشطات الكيميائية (الكيموكينات) المعروفة بتعزيز **اندخال** internalization المستقبل CCR5. وتسمح هذه الملاحظة بظهور إمكانية إيجاد عوامل فارماكولوجية (دوائية) لا تسرع فقط نزع أو إزالة المستقبل CCR5 من سطح الخلية، بل أيضا تخدم كمعالجات لا يمكن للفيروس أن يتكيف معها، إذ إنه لا يوجد تبدُّل يمكن أن يخضع له فيروس العَوَز المناعي البشري يُمكِّنه من التثبُّت (التمسُّك) على المستقبل CCR5 إذا كان هذا المُسْتَقْبِل قد نُزع من سطح الخلية.

---

(1) الفتح والإغلاق



إيقاف التأشير الارتدادي(**)

يمكن أن تبدي المُسْتَقْبِلات المقترنة بالپروتين G، بعيدا عن كونها قابلة للسيطرة بوساطة المحورات التفارُغية، سلوكا بيولوجيا مهما آخر، يُعرف على أنه **نشاط بنيوي** constitutive، وهذا يعني أنها تُنشَّط أحيانا البروتينات G حتى من دون أن «يطلب إليها» **لجَيْن رابط** bound ligand فعل ذلك. فكما هو وارد في الأنماط الأخرى للأداء الوظيفي للمُسْتَقْبِل المقترن بالپروتين G، فإن هذا النشاط البنيوي ينشأ عن **شكل** shape خاص من الأشكال التي يتخذها المُسْتَقْبِل receptor's repertoire. ومع ذلك، فإن هذه الهيئة conformation هي واحد من تلك الأشكال التي نادرا ما يتخذها المُسْتَقْبِل. وتبعا لذلك فإن عدد الجزيئات التي تتبنى هذه الهيئة، تحت ظروف طبيعية، سيكون قليلا جدا، وهكذا سيكون لها تأثير صغير في السلوك الكلي للخلية وسيكون من الصعب كشفها. ولكن في حال أصبحت

A Scenario For HIV Treatment (*)
Stopping Renegade Signaling (**)

بعض التوقعات المبكرة لأدوية جديدة(*)

في مجمل الحالات، بدأ الباحثون باستنباط أدوية تؤثر في المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs) باستخدام طرق جديدة. لكن يُتوقع لمثل هذه الأدوية أن تدخل السوقَ الصيدلانية في السنوات القادمة.

الاضطراب	نمط الدواء	اسم الدواء (اسم الصانع)	مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G	مرحلة التطوير
	محوِّر متفارغ	Aplaviroc (Glaxo SmothKline); Vircriviroc (Shering-plough); UK-427,857 (Pfizer)	CCR5 (الارتباط مع HIV يساعد هذا الفيروس على الدخول إلى الخلية)	جميعها في مرحلة التجارب البشرية II أو III (اختبارات مبكرة أو متقدمة للنجاعة efficacy)
عدوى فيروس العَوَز المناعي البشري (HIV)	محوِّر متفارغ	AMD3100 (AnorMED)	CXCR4 (يمكن لهذا المُسْتَقْبِل أيضا أن يساعد على دخول الفيروس HIV إلى الخلايا)	في التجارب البشرية في المرحلة III
	محرض الاندخال	PSC-RANTES (مؤسسات عديدة)	CCR5	نظريا
السكري	رابط لمُسْتَقْبِل مكوَّن من جزيئَيْن	Symlin (Amylin)	معقد مكوَّن من بروتين يسمى RAMP والمُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G (GPCR) للكالسيتونين calcitonin (هرمون الدرق)	بلغ مرحلة مصادقة الولايات المتحدة في الشهر 2005/5
	ناهض معكوس	ليس بعد	مُسْتَقْبِل ghrelin فعال بنيويا في الجهاز العصبي المركزي	نظريا
السمنة	ناهض معكوس	ليس بعد	مُسْتَقْبِل هيستامين H_3 فعال بنيويا في الجهاز العصبي المركزي	نظريا
السرطان	ناهض معكوس	ليس بعد	مُسْتَقْبِلات مقترنة بالبروتين G فعالة بنيويا متنوعة	نظريا

المُسْتَقْبِلات البنيوية الناشطة وفيرة بكفاية، فإن **تأثيـرها المشتـرك** combined signaling يستطيع أن يمارس تأثيرا قويا.

وتصبح تلك النتائج خطرة في حال المرض، مثل **العدوى الفيروسية** viral infection أو السرطان، الذي يمكن أن يتفاقم من خلال تحريض مُستقبل معين أو غيره لكي يسلك سبيلا يعزز المرض. فعلى سبيل المثال، في أحد أشكال سرطان **البنكرياس** pancreatic، قد يقوم المُسْتَقْبِل الخاص بهرمون معيَّن يدعى **الببتيد المِعَوي الفعال في الأوعية** vasoactive intestinal peptide (VIP) بدور المنفذ السيئ.

ففي حالة الخلية البنكرياسية التي تحمل المُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G، فإن تنشيط هذا المُسْتَقْبِل بالببتيد المعوي الفعال في الأوعية (VIP) يدعم انقسام الخلية، لكن في حالة الأشخاص المبتلين بهذه الخباثة، يصبح المُسْتَقْبِل **مفرط الوفرة** overabundant وتصبح **الأشكال (النُّسخ) المعدلة** versions لهذا المُسْتَقْبِل ـ والتي تعمل باستقلالية من غير حاجة إلى التنبيه بالببتيد المعوي الفعال في الأوعية ـ تبعا لذلك عديدة؛ إذ تكتسب مع بعضها القدرة على قيادة تكاثر غير مقيد لخلايا السرطان. وقد تعرَّف المختصون بالأورام قبل عهد طويل النشاطَ البنيوي المخرِّب لبعض المُسْتَقْبِلات غير المقترنة بالبروتين G، وبخاصة أحدها الذي يدعى ras. وفي هذه الحالات، تكون **الطفرات** mutations في المُسْتَقْبِل، وليس **الوفرة** aberrant، هي المسبب لهذا السلوك.

لا تستطيع المواد الصيدلانية (الأدوية) المعيارية أن تحد (تلطِّف) من سوء السلوك الخلوي الذي انطلق بفعل المُسْتَقْبِلات الناشطة (الفاعلة) بنيويا. يمكن فقط **لمنبه مُسْتَقْبِل تقليدي** conventional receptor stimulant، أو **ناهض** agonist، أن يجعل عددا أكبر من المُسْتَقْبِلات يتخذ شكلا ناشطا، مما يضر المريض. ويمكن **لمحصر** blocker مُسْتَقْبِل تقليدي، أو **مناهض** antagonist، أن يمنع الإشارات الطبيعية من أن تفعِّل المستقبلات، لكن مثل هذه العوامل (المحصرات) لن يكون له تأثير في المُسْتَقْبِلات التي لا تحتاج إلى تعزيز من الخارج لكي تعمل. وهكذا، ثمة نوع جديد من الأدوية هو المطلوب، ذلك الذي يجعل المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G الناشطة بنيويا تحافظ على **الشكل العاطل (غير الفعال)** inactive shape.

وفي يوم ما يمكن لمثل هذه العوامل (الأدوية)، التي تسمى **ناهضات معكوسة** inverse agonists، أن تصير شكلا جديدا مهما لمعالجة السرطان. وهذه العوامل هي قيد البحث أيضا لمعالجة السِّمنة. وفي هذا الحقل، تتضمن الأهداف المنشودة مُسْتَقْبِل الـ ghrelin: هرمون مُكْتَشَف حديثا يُنْتَج على نحو رئيسي في المعدة، والنُّميط H3 لمُسْتَقْبِل الهيستامين؛ ويبدو أن كلا المُسْتَقْبِلين يشتركان في التنظيم الدماغي للشهية.

استقصاء الجينات الخيالية(**)

على الأقل ثمة شكل آخر من أشكال سلوك المُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G يبقى هدفا للتنقيب لأجل اكتشاف الدواء. فالخلايا تقوم أحيانا بمزج وإجراء التزاوج ما بين البروتينات، فتشكل معقدات تعمل مُسْتَقْبِلات تمتلك **حساسية** sensitivities لا تُرى في المكونات المُفرَدة لهذه المعقدات. وفي الحد

(*) Some early prospects for new drugs
(**) Exploiting Phantom Genes

الأقصى لهذا النموذج، تكتسب الخلية **استجابية** responsiveness إلى إشارة ما كان من الممكن أن تتجاهلها لولا هذا النشاط. تملك البروتينات المفردة **مخططاتها الأصلية (طبعاتها الزرق)** blueprints ضمن جينات (مورثات) نوعية، لكن ليس لهذه **المُسْتَقْبِلات التوليفية** combination receptors مخطط مفرد موافق (وهو الذي يمكن أن يُتوقَّع من خلاله سلوكيات هذه المُسْتَقْبِلات). وهكذا يمكن أن يُظن بأنها عبارة عن منتجات تنتجها **جينات «خيالية»** phantom genes.

في بعض الحالات، يُعد المُسْتَقْبِل الجديد معقدا يتكون من مُسْتَقْبِلَيْن أو أكثر من المستقبلات المقترنة بالبروتين G؛ في حالات أخرى، يتكون من مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G وبروتين مُشارك (تميم البروتين) co-protein، ذلك الذي لا يُعد هو نفسه مُسْتَقْبِلا بل يعطي المُسْتَقْبِل مجموعة معدَّلة من الخواص. ويبدو أن مُسْتَقْبِل أحد الهرمونات الذي يدعى أميلين amylin هو من هذا النمط. يقوم الأميلين، المحرَّر (المنطلق) من قبل الخلايا البنكرياسية نفسها التي تُفرز الأنسولين insulin، بتحوير (تعديل) تأثيرات الأنسولين في خلايا أخرى، ولكن الجهود التي بذلت لتعيين هوية أحد البروتينات المفردة الذي يخدم مُسْتَقْبِلا لهذا الأنسولين قد فشلت. وأكثر من ذلك، تشير تحاليل مُتوالية **الجينوم (المَجين)**[1] **البشري** human genome sequence التي أُكملت حديثا، إلى أنه لا توجد جينة لمثل هذا المُسْتَقْبِل. ومن ناحية أخرى، هناك مُعقَّد يتكون من مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G **لهرمون الدَّرَق «الكالسيتونين»** thyroid hormone calcitonin ومن **بروتين لا يُعد مُسْتَقْبِلا** non-receptor protein ويدعى RAMP (والحروف هي اختصار **البروتين المحوِّر لنشاط المُسْتَقْبِل** receptor activity-modifying protein)، وهذا المعقد يستجيب بشدة وبانتقائية للأميلين. ويبدو ظاهريا أن البروتين RAMP يجعل مُسْتَقْبِل الكالسيتونين **«متعدد اللغات»** multilingual ـ وهو ما يعني أن هذا المُسْتَقْبِل هو **تفاعلي** reactive تجاه الكالسيتونين إذا ما افتقرت الخلايا إلى البروتين RAMP، لكنه حساس للأميلين إذا ما احتوت الخلايا على هذا البروتين.

ويحرِّض أحد البروتينات المشاركة (المساعدة) الأخرى، والذي يسمى RCP **(بروتين مكوِّن للمُسْتَقْبِل** receptor component protein)، مُسْتَقْبِل الكالسيتونين لكي يستجيب للإشارات من مادة أخرى، هي CGRP **(ببتيد متعلق بجينة الكالسيتونين** calcitonin-gene- related peptide)، وهي بروتين صغير يُعد البروتين الأكثر فاعلية المعروف بأنه موسع للأوعية الدموية. ويصبح هذا **التحويل** conversion ذا قيمة أثناء الحمل، عندما ترتفع مستويات الدم من الببتيد الموسِّع وترتفع مستويات البروتين RCP في جدار الرحم. وبسبب ازدياد تركيز البروتين RCP يزداد من ثم عدد مُسْتَقْبِلات الكالسيتونين التي تصبح حساسة للمُوَسِّع. وهذا التبدّل يعزِّز إمداد الدم للنُّسج المهمة لأجل **الولادة** childbirth.

ولأن البروتينات المشاركة تؤثر في نشاط وفعالية المُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G، فيمكن لها هي نفسها أن تبرهن على قيمتها بصفتها أهدافا دوائية. وأحد الأهداف المدهشة هو الموديولين modulin، وهو بروتين مشارك يرتبط بمُسْتَقْبِلات السيروتونين serotonin. ففي الدماغ، يُعد السيروتونين الناقل العصبي الأكثر شهرة الذي يُعزِّز **المزاج** moodenhancing. (يعمل البروزاك Prozac ومضادات الاكتئاب ذات الصلة من خلال زيادة مستويات سيروتونين الدماغ). أما خارج الدماغ، فيؤثر السيروتونين في الأمعاء وفي أوعية الدم. وربما على نحو غير مفاجئ، تملك مُسْتَقْبِلات السيروتونين العديد من **النُمَيْطات** subtypes، وإن الموديولين يضبط تأثيرات السيروتونين في خلايا معينة من خلال تعديل حساسية أحد النميطات تجاهه. إن الدواء الذي يُحاكي أو يثبِّط الموديولين، يمكنه، عندئذ، نظريا زيادة أو إنقاص **استجابة** responsivenss مُسْتَقْبِلات السيروتونين النوعية، الموجودة على أنماط من الخلايا النوعية ومن ثم يمكنه أن يكون ذا فائدة في مجالات تتراوح من **الفُصام** schizophrenia وحتى الوظيفة المَعِدية المعوية.

ويقدِّر الباحثون أن من بين نحو 650 جينة بشرية للمُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G ثمة 330 يمكن أن تكون هي الطبعات الأولية للمُسْتَقْبِلات وتستحق أن تكون مُسْتَهْدَفة بالأدوية. وسابقا، كان العلماء يركِّزون على تطوير المثبطات ذات النمط القديم أو على الناهضات الموجهة نحو المقر الناشط للمُسْتَقْبِل. لكن إذا قدَّم العديد من المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G مَقرَّات كثيرة للهجوم، فستُحدث ثورة في فُرَص ابتكار معالجات دوائية جديدة. ولما كان اكتشاف أي دواء واستقصاء تأثيراته وتقييم مأمونيته وإدخاله إلى السوق التجارية يحتاج إلى 15 سنة أو حتى 20، فإن التنبؤات المُفَصَّلة سابقة لأوانها. ومع ذلك، إن التبصرات في كيفية السيطرة على المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G توحي بأن هذه البدائل القديمة مازالت حكايتها مثيرة. ■

(1) مجموع الجينات في الكائن.

المؤلف

Terry Kenakin

يطبق ***كيناكين*** *مفاهيم فارماكولوجيا المُسْتَقْبِل على برامج اكتشاف الدواء منذ ثلاثة عقود تقريبا، وهو حاليا الباحث الرئيسي في الشركة الصيدلانية* *GlaxoSmithKline*. *نشر 6 كتب عن الفارماكولوجيا، وهو أيضا رئيس التحرير المشارك لمجلة* **المُسْتَقْبِلات وتنبيغ الإشارة** Journal of Receptors and Signal Transduction.

مراجع للاستزادة

Novel GPCRs and Their Endogenous Ligands: Expanding the Boundaries of Physiology and Pharmacology. A. Marchese, S. R. George, L. F. Kolakowski, K. R. Lynch and B. F. O'Dowd in *Trends in Pharmacological Sciences*, Vol. 20, No. 9, pages 370–375; September 1, 1999.

Drug Discovery: A Historical Perspective. J. Drews in *Science*, Vol. 287, pages 1960–1964; March 17, 2000.

G-Protein-Coupled Receptor Interacting Proteins: Emerging Roles in Localization and Signal Transduction. A. E. Brady and L. E. Limbird in *Cellular Signalling*, Vol. 14, No. 4, pages 297–309; April 2002.

A Pharmacology Primer: Theory, Application, and Methods. Terry Kenakin. Academic Press (Elsevier), 2003.

Scientific American, October 2005

تتمة الصفحة 9 (كيف تجري الحيوانات عمليات مقايضة فيما بينها)

كيف يُجري البشر صفقاتهم التجارية[*]

العواطف التي وصفها <F. دو ڤال> في المقايضات الاقتصادية عند الحيوانات الاجتماعية لها نظائر في صفقاتنا (معاملاتنا التجارية). وتوحي مثل هذه التشابهات بأن التأثيرات الاقتصادية البشرية تحكمها ـ جزئيا على الأقل ـ الميول والعواطف القديمة. وفي الحقيقة، إن ما يتم في عالم الحيوان يدعم فرعا جديدا من المعرفة يعرف باسم «**علم الاقتصاد السلوكي**» behavioral economics. وهذا الفرع الجديد يتحدى ويحوِّر «النموذج القياسي» في مباحث الاقتصاد، الذي يؤكد أن البشر يؤسسون قراراتهم الاقتصادية على عمليات التفكير العقلاني. فالناس مثلا، يرفضون العروض التي تصدمهم بعدم عدالتها، في حين يتنبأ علم الاقتصاد التقليدي بأن الناس يأخذون أي شيء يستطيعون الحصول عليه. وقد مُنحت جائزة نوبل في علم الاقتصاد عام 2002 لرائدين في هذا المجال: <D. كانمان> [العالم السيكولوجي (النفسي) في جامعة برنستون] و<V. L. سميث> [العالم الاقتصادي في جامعة جورج ماسون].

وقد قام <كانمان> وزميله <A. تڤرسكاي> المتوفى عام 1996 ومن ثم لم يُرشَّح للجائزة، بتحليل كيف يصنع البشر قراراتهم عندما يُواجَهون بالشك والخطر. ولقد كان علماء الاقتصاد التقليديون يفكرون في قرارات الإنسان بلُغة المنفعة المتوقعة ـ مجموع المكاسب التي يعتقد الناس أنهم سوف يحصلون عليها من حدث مستقبلي مضروبا في احتمالية حدوثه. لكن <كانمان> و<تڤرسكاي> أوضحا أن الناس يخشون الخسائر أكثر كثيرا من تشجّعهم بمكاسب محتملة وأن الناس تتبع الجماعة (القطيع). لقد أمدنا انفجار فقاعة البورصة في عام 2000 بمثال قوي؛ فربما كانت الرغبة في البقاء مع القطيع قد قادت الناس إلى أن يدفعوا في الأسهم أكبر كثيرا مما قد يدفعه أي مستثمر عقلاني.

ولقد أوضح عمل <سميث> أن تجارب المختبر قد توظَّف في علم الاقتصاد، الذي كان يعد علما لاتجريبيا يعتمد كليا على الملاحظة. ومن بين نتائجه في المختبر: القرارات العاطفية ليست بالضرورة غير حكيمة.



قد يستولي الصعود غير العقلاني على مشاعر المتعلمين في البورصة.

يحصل عليه الآخرون أمرا غير منطقي أو عقلاني، ولكن على المدى الطويل هو يحفظ الفرد من أن يُحتال عليه. وعدم تشجيع الاستغلال عامل حاسم لاستمرار التعاون.

ومع ذلك، إن المراقبة الدقيقة الدائمة لسارات الفوائد والخدمات أمر يسبب كثيرا من القلق. وهذا هو السبب في أن البشر يحمون أنفسهم ضد التطفل والاستغلال بتكوين علاقات زمالة مع الشركاء ـ مثل الأزواج والأصدقاء الجيدين ـ الذين صمدوا لاختبار الزمن. فإذا ما حددنا الذين نثق بهم، تراخينا في التقيد بالقواعد. ولذلك نحن لا نحتفظ بسجلات ذهنية إلا مع الشركاء غير وثيقي الصلة، ونتأثر بقوة بالأمور غير المتوازنة ونصفها بأنها «غير مُنصفة».

وقد وجدنا دلالات على تأثير المسافات الاجتماعية في الشمپانزات. فكما رأينا، إن أسلوب «واحدة بواحدة» نادر بين الأصدقاء الذين يقدمون خدمات بعضهم لبعض روتينيا. وتبدو هذه العلاقات أيضا حصينة نسبيا ضد عدم المساواة. ولقد أجرت <بروسنان> تجاربها في التبادل باستخدام العنب والخيار على الشمپانزات وقرود كاپوشين أيضا. ولقد ظهر أقوى رد فعل بين الشمپانزات التي عرف بعضها بعضا زمنا قصيرا نسبيا، في حين أن أعضاء الجماعات التي عاشت معا لأكثر من 30 عاما فلا تكاد تتأثر على الإطلاق بهذه العوامل؛ بل ربما كلما زادت ألفتها زاد إطار الوقت الذي تقيِّم الشمپانزات فيه علاقاتها. والعلاقات البعيدة غير الوثيقة الصلة هي وحدها التي تكون حساسة للتذبذبات اليومية.

وجميع المتعاملين اقتصاديا، سواء من البشر أو الحيوان، عليهم مواجهة مشكلة التطفل وتقاسم العائدات بعد جهود مشتركة. إنهم يقومون بالاقتسام الأكبر مع أولئك الذين يساعدونهم أكثر ويبدون ردود فعل عاطفية قوية نحو مخالفة توقعاتهم. وثمة مبحث من علم الاقتصاد تطوري حقا يعترف بسيكولوجية المشاركة هذه، وينظر بعين الاعتبار إلى أن احتمال اكتسابنا إياها ليس من باب المصادفة، كما كان يعتقد <هوبس>، لكن كجزء من خلفيتنا كرئيسات متعاونة. ■

(*) How Humans Do Business

المؤلف

Frans B. M. DeWaal

هو أستاذ كرسي <C. H. كاندلر> لسلوك الرئيسات في جامعة إيموري ومدير مركز الحلقات الحية في مركز يركس الوطني لأبحاث الرئيسات. يتخصص <دي ڤال> بالسلوك الاجتماعي والمعرفي في القرود والشمپانزي والبونوبوس (الشمپانزي القزم)، وعلى وجه الخصوص من ناحية التعاون وحل المنازعات والثقافة. ومن بين مؤلفاته: **سياسات الشمپانزي** Chimpanzee Politics، **صنع السلام بين الرئيسات** Peacemaking among Primates، **والقرود العليا وسيد السوشي** The Ape and the Sushi Master *(والسوشي أكلة يابانية من الأرز والسمك والخضراوات).*

مراجع للاستزادة

The Chimpanzee's Service Economy: Food for Grooming. Frans B. M. de Waal in *Evolution and Human Behavior*, Vol. 18, No. 6, pages 375–386; November 1997.

Payment for Labour in Monkeys. Frans B. M. de Waal and Michelle L. Berger in *Nature*, Vol. 404, page 563; April 6, 2000.

Choosy Reef Fish Select Cleaner Fish That Provide High-Quality Service. R. Bshary and D. Schäffer in *Animal Behaviour*, Vol. 63, No. 3, pages 557–564; March 2002.

Infants as a Commodity in a Baboon Market. S. P. Henzi and L. Barrett in *Animal Behaviour*, Vol. 63, No. 5, pages 915–921; 2002.

Monkeys Reject Unequal Pay. Sarah F. Brosnan and Frans B. M. de Waal in *Nature*, Vol. 425, pages 297–299; September 18, 2003.

Living Links Center site: **www.emory.edu/LIVING_LINKS/**

Classic cooperation experiment with chimpanzees: **www.emory.edu/LIVING_LINKS/crawfordvideo.html**

Scientific American, April 2005

Majallat
AlOloom
المجلد 22 ـ العددان 7/6
يونيو/يوليو 2006
مجلة العلوم

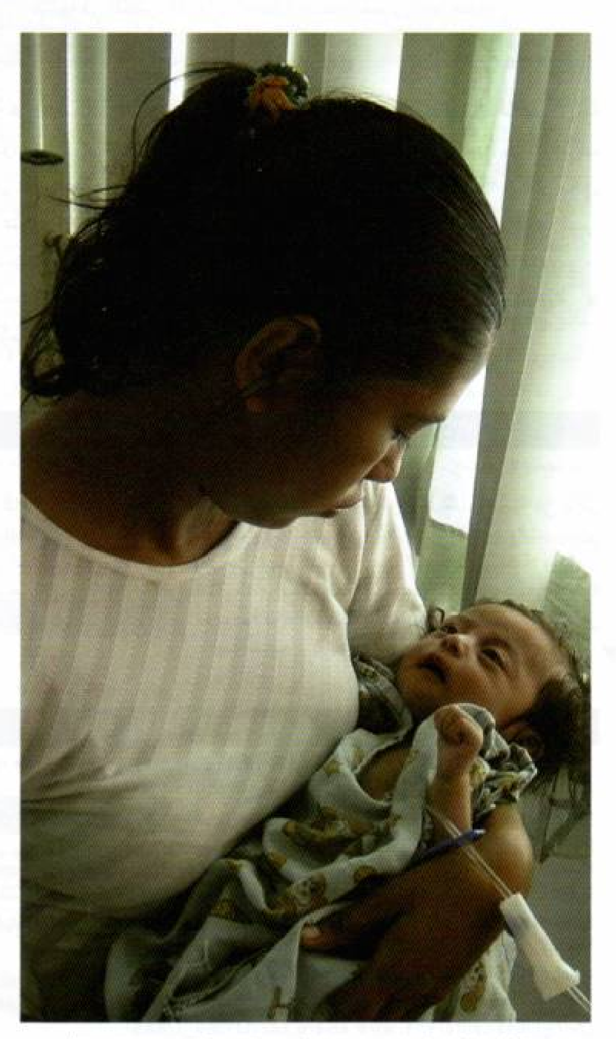
أمل جديد لقهر الروتاڤيروس(*)

مع أن اسمه ليس معروفا للكثيرين فإن الروتاڤيروس أو ڤيروس «الروتا» هو السبب الرئيسي للإصابة بإسهال الأطفال في العالم، ويقتل العديد من الأطفال الصغار في الدول النامية. وحاليا، بعد ثلاثين عاما من الأبحاث سيتوافر في الأسواق اللقاح الذي يمكن أن يقضي عليه.

<R .I. گلاس>

إن الفكرة السائدة عن الڤيروس القاتل تعيد للأذهان صور المرضى الذين يعانون الإصابة بڤيروسات «الإيبولا» في إفريقيا و«السارس» في آسيا و«الهانتا» في الولايات المتحدة الأمريكية. ولكن في الواقع فإن هذه الڤيروسات الشريرة حصدت من الأرواح أقل مما حصده الروتاڤيروس الذي مازال اسمه مجهولا للعامة؛ فتقريبا يصيب هذا الڤيروس جميع الأطفال في السنوات الأولى من أعمارهم. وهو يسبب قيئا يعقبه إسهال، وكثيرا ما يكون الإسهال شديدا، حتى إنه لو ترك من دون علاج يؤدي للإصابة بصدمة من التجفاف ثم الوفاة. وفي مختلف أنحاء العالم يقتل الروتاڤيروس نحو 000 610 طفل، ما يوازي خمسة في المئة من جميع وفيات الأطفال الذين تقل أعمارهم عن خمس سنوات، وفي الولايات المتحدة قليل من الأطفال يموتون من الإصابة بالڤيروس ولكن نحو 000 70 يحتاجون سنويا إلى دخول المستشفيات والعديد من الملايين يعانون بصمت الإصابة بالڤيروس في المنازل.

ومع أن العلماء حاليا على وشك تحطيم قبضة هذا المرض القاتل ـ في الشهر 1، وبعد ثلاثة عقود من تعرّف السبب الرئيسي للمرض ـ فقد أعلنوا أن نوعين من اللقاحات من هذا الڤيروس قد ثبتت فاعليتهما في التجارب السريرية (الإكلينيكية) التي شملت أعدادا كبيرة. وقد كانت عملية تصنيع اللقاح ضد الروتاڤيروس شديدة الصعوبة والتعقيد أكثر مما يمكن أن يتصوره أي إنسان، كما كانت تعجّ بالتراجعات والمفاجآت. ولكن منظمة الصحة العالمية (WHO) والاتحاد العالمي للتحصين والمناعة[1] اعتبرا أن لقاح الروتاڤيروس ذو أولوية قصوى وأن المعركة النهائية لحصول الأطفال الصغار على هذا اللقاح الذين يحتاجون إليه بشدة قد بدأت بالفعل.



يجري إنقاذ الطفل المصاب بإسهال شديد نتيجة العدوى بالروتاڤيروس عن طريق علاج التجفاف، ولكن العديد من الأطفال في الدول النامية، حيث لا تتوافر وسائل الرعاية الصحية لهم ولا يتم علاج المصابين بالڤيروس، سوف يموتون بسبب الإصابة.

(*) NEW HOPE FOR DEFEATING ROTAVIRUS
(1) Global Alliance for Vaccines and Immunizations

ذُرَيْرات (جزيئات) الڤيروس تشبه العجلة (ومن هنا جاء اسمها روتا، أي العجلة) حيث يمكن رؤيتها بالمجهر الإلكتروني - الذريرات في هذا الشكل ملونة ومكبرة تكبيرا شديدا.

تعرُّف الڤيروس المعدي(*)

في عام 1973 كانت <R. بيشوب> [عالمة الميكروبيولوجيا (الأحياء الدقيقة) الشابة والتي تعمل في مجال أمراض الجهاز الهضمي بالمستشفى الملكي في ملبورن ـ أستراليا] أول من تعرف الروتاڤيروس مسببا لمرض الإنسان. وفي هذا الوقت كان الباحثون حائرين في معرفة سبب إسهال الأطفال. ومع أن المرض كان منتشرا وشديدا، فقد كان من النادر تعرف أسبابه. ولمعرفة المسببات كانت مجموعة <بيشوب> تفحص بوساطة المجهر الإلكتروني عينات من الاثني عشر والأمعاء الدقيقة للأطفال المصابين بإصابات حادة، وقد ذُهلت مجموعة <بيشوب> لما شاهدته: الاحتشار بڤيروسات تشبه العجلة في الخلايا الظهارية المبطنة للأمعاء.

وقد بدأ اهتمام كاتب هذه المقالة شخصيا بالروتاڤيروس في عام 1979 عندما انتقل هو وزوجته إلى بنغلاديش للعمل في المركز الدولي لأبحاث أمراض الإسهال. ومثل أي شباب مثاليين تم انجذابهم لهذا العمل لرغبتهم في مساعدة الأطفال في بلد، حيث الإسهال الشديد من أهم أسباب الوفاة فيها. وفي المستشفى المركزي في دكا كان يتم سنويا إدخال مرضى عديدين مصابين بما كان يسمى «الإنفلونزا المعوية»، لدرجة أنه كان يتم رعايتهم في ممرات المستشفى وفي خيم خارجه، معتقدين أن العدوى البكتيرية هي التي سببت الإصابة بالإسهال، وفوجئنا أن هؤلاء الأطفال لم يكونوا مصابين بالكوليرا أو السالمونيلا أو الشيگيلا أو الكولونيات، بل بالروتاڤيروس الذي كانت معرفتنا به قليلة، وبالاستعانة باختبار بسيط تم تعرف أن الروتاڤيروس كان سبب دخول ما يراوح بين 25 و 40 في المئة من جميع الأطفال المصابين بالإسهال الذين تقل أعمارهم عن خمس سنوات للمستشفى.

وأظهرت الدراسات من مختلف أنحاء العالم نتائج مماثلة، بل أكثر من ذلك: لقد أوضحت أن الروتاڤيروس لم يكن فقط واسع الانتشار ولكنه سبب رئيسي للوفاة في البلاد الأشد فقرا. وفي عام 1985 أجبرت هذه المعلومات المؤسسة الطبية على وضع عدوى الروتاڤيروس على رأس قائمة الأمراض التي تستدعي عاجلا وجود لقاحات لها في دول العالم النامية.

وفي الوقت نفسه ومما يدعو للاستغراب كانت معرفة نسبة انتشار الروتاڤيروس في الولايات المتحدة في عام 1986 غير معروفة ـ وعند عودة كاتب المقالة إلى مراكز مكافحة الأمراض (CDC) في الولايات المتحدة الأمريكية، كان المرض نادرا ما يتم تشخيصه. وفي الواقع لم يكن حتى مسجلا على قائمة التصنيف الدولي للأمراض. وبعد معرفة أهمية المرض مما وراء البحار، قام الكاتب وزملاؤه بالتقصي عما إذا كان المرض يصيب الكثير من الناس في الولايات المتحدة.

ولكن كيف يمكن تقدير عبء مرض كان من النادر تشخيصه، ولم يسبق تدوينه في سجلات المرضى من المستشفيات ولا يتم تشخيصه بوساطة معظم أطباء الأطفال الذين كثيرا ما يعالجونه؟ بدأت زميلتي <Ch-M. هو> بمراجعة سجلات إدخال الأطفال إلى المستشفيات، ووجدت أن الإسهال سبب شائع للبقاء في المستشفيات في نحو 12% من الأطفال دون الخمس سنوات، وتم تسجيلهم على أن سبب الإسهال غير معروف. وأثبتت الدراسات التالية أن الإصابة بالروتاڤيروس شكلت نصيب الأسد من الحالات غير المعروف سببها. وقد ظهرت ثلاث حقائق مثيرة أخرى عن الروتاڤيروس في أمريكا: أولا إن العدوى تتبع نظاما موسميا محددا ـ قمته من الشهر 12 إلى الشهر 3؛ ثانيا إن معظم الأطفال الذين يتم إدخالهم بسبب الإصابة بهذا الڤيروس سنهم أقل من خمس سنوات؛ ثالثا بصرف النظر عن الموسم فإن الروتاڤيروس يسبب معظم حالات الإسهال الشديد في الأطفال الصغار.

يعرف دارسو علم وبائيات الأمراض حاليا أن الروتاڤيروس هو أكثر وأهم سبب للإصابة بإسهال الأطفال في جميع أنحاء العالم ويصيب افتراضيا جميع الأطفال بين سن ثلاثة أشهر وخمس سنوات. ولأن الڤيروس يختلف عن البكتيرات[1] التي تنتشر عن طريق الغذاء أو الماء الملوث، وبذلك تتركز إصاباتها في المناطق الفقيرة، ولا تتبع الإصابة بالروتاڤيروس حدودا جغرافية. وفي الواقع بسبب سعة انتشار الڤيروس فإن الأمريكيين يواجهون نفس خطر الإصابة، مثل البنگلاديشيين ـ مما يشير إلى أن الڤيروس شديد العدوى، وينتشر بسهولة مثل انتشار ڤيروس «نزلة البرد» مثلا. وكما هو معروف في الڤيروسات التي تسبب الإصابة بنزلة البرد فإن تطبيق القوانين الصحية وماء الشرب النظيف ليس لهما تأثير يذكر في منع

نظرة إجمالية/ اكتشاف الروتاڤيروس(**)

- يصاب تقريبا كل طفل في العالم بالروتاڤيروس على الأقل مرة واحدة، على الرغم من ذلك مازال اسم المرض مجهولا لدى الكثيرين، وغالبا ما يشخص على أنه إنفلونزا معدية أو معوية، حتى لدى العاملين في مجال الرعاية الصحية.
- يسبب المرض خسارة كبيرة للأطفال الصغار، حيث يؤدي إلى دخول عشرات الآلاف منهم إلى المستشفيات كل عام في الولايات المتحدة، ويقتل أكثر من 000 600 في البلاد الفقيرة.
- منذ اكتشاف الڤيروس قبل ثلاثين عاما ـ عرف الباحثون الكثير من أسراره، ومنها التوصل إلى أن اللقاح يمكنه القضاء عليه.
- اليوم بعد عدة عثرات وبدايات خاطئة تم تقريبا كسب السباق لإيجاد لقاح: العديد من لقاحات الروتاڤيروس أثبتت سلامتها وفعاليتها.

(*) Identifying the Contagion

(**) Overview/ Rotavirus Victory

(1) جمع بكتيرة bacterium.

التوزيع العالمي للوفيات عام 2003 بسبب الروتاڤيروس(*)



تقريبا كل طفل عمره أقل من خمس سنوات سوف يصاب بالروتاڤيروس، ولكن معظم الوفيات تحدث خارج أمريكا الشمالية وأوروبا: في الأمكنة التي يصعب فيها الحصول على الرعاية الطبية وعلاج التجفاف ـ وتوضح الخريطة الوفيات التي قدرت عند الأطفال في تلك الفئة العمرية في عام 2003، وتبين العشر دول التي عانت أكثر الوفيات. وتقع بنغلاديش قرب أسفل هذه المجموعة ولكنها تعاني أعلى نسبة للوفيات بين الأفراد بسبب هذا المرض. والسكان في المناطق الريفية هناك كثيرا ما يقطعون مسافات طويلة بوسائل بطيئة (*الصورة اليمنى*) للحصول على المساعدة. والأطفال المصابون بإسهال شديد عندما يصلون إلى دكا يتم وضعهم في أسرة تحتها جرادل (سطول) لتتلقى مباشرة الإسهال الغزير المائي. وفي يمين الصورة، أم داخل المستشفى تعطي طفلها محلول معالجة التجفاف.

انتقال المرض.

وتشهد الدراسات السريرية والجزيئية على ضراوة المرض، حيث إن عشرة جزيئات فقط من الڤيروس يمكنها بدء المعاناة لدى طفل صغير: رذاذ محمل بالڤيروس يقع على إبهام الطفل أو على لعبته يكفي للإصابة بالمرض. وبدخوله في الفم يجد الڤيروس طريقه للخلايا الظهارية المبطنة للأمعاء الدقيقة، حيث يتكاثر بسرعة مذهلة، وخلال 24 ساعة فإن عشرة ڤيروسات يصل عددها إلى الملايين ـ تملأ وتقتل الخلايا ببروتيناتها وذيفاناتها ـ وجزيئات صغيرة مصنعة. وبسرعة يتسلخ الغشاء المبطن للجهاز المعوي ويخرج فيضان من السوائل والأيونات (الشوارد) الذائبة في السوائل إلى خارج الجسم على هيئة نوبات من الإسهال. وبدون بدء علاج الإماهة لمقاومة التجفاف يفقد الطفل 10% من وزنه ويصاب بالصدمة ـ فقط خلال يوم أو يومين من الإصابة.

ولحسن الحظ، فإن الأطفال الذين ينجون من الإصابة بالعدوى الأولى لا يعانون مضاعفات طويلة الأمد ـ وقد يصاب القليلون منهم فقط بنوبة إسهال أخرى سببها الروتاڤيروس، حيث توجد لديهم مناعة طبيعية ـ وأن جهازهم المناعي ينطلق بسرعة للتعرف ولمنع تكاثر الڤيروس عند هجومه التالي ـ ولكن لأن الكثير من الأطفال يمرضون بشدة من أول عدوى، فكّر العلماء في لقاح يشابه المناعة الطبيعية كأفضل أمل لإنقاذ الأرواح.

وتبدأ رحلة البحث عن لقاح(**)

اللقاحات أسلحة قوية في مخزون الإنسان ضد الأمراض الإنتانية وتعتبر أهم التدخلات المؤثرة في الصحة العامة. وسواء كانت مصنوعة من الكائنات الحية الدقيقة أو المقتولة أو من بروتيناتها الأساسية، فإن اللقاحات تخدع الجهاز المناعي للمتلقي ليعتقد أنه هوجم بالمرض. واستجابة لذلك فإن الجهاز المناعي ينتج أضدادا (أجساما مضادة) للقاح (الذي لا يسبب

Global Distribution of Deaths from Rotavirus (*)
Quest for a Vaccine Begins (**)

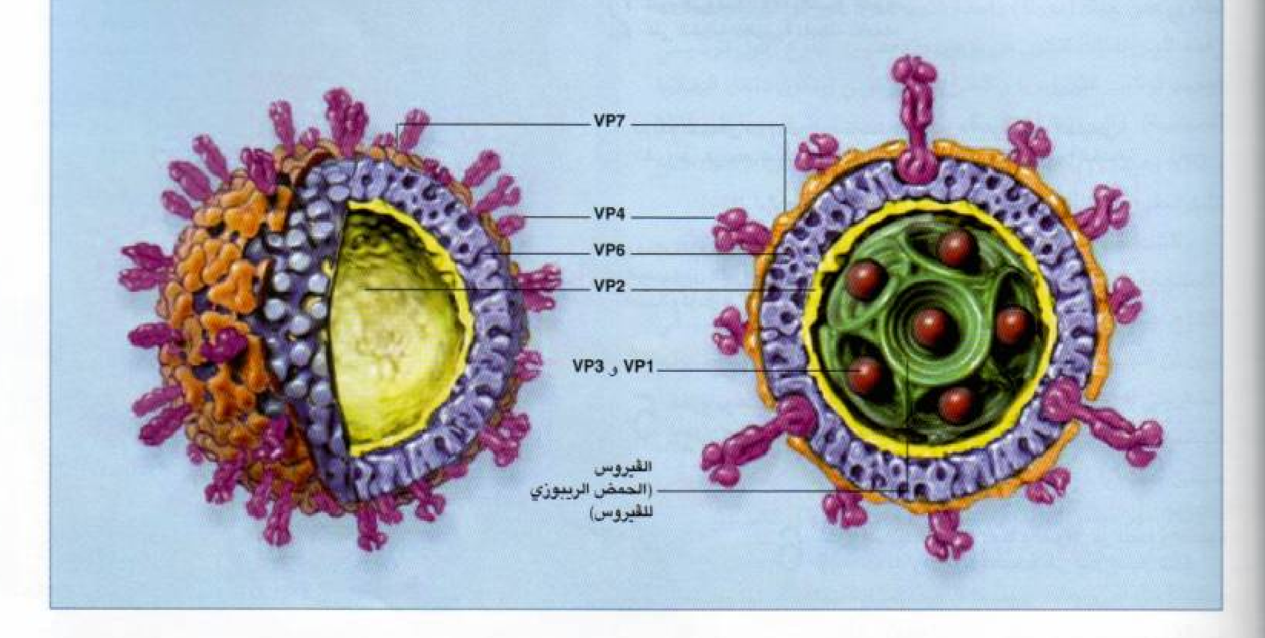
الروتاڤيروس عن قرب[*]

توضح الدراسات البنيوية للڤيروس بالمجهر الإلكتروني - الذي يظهر أسفل، في مقطعين - أنه يتكون من ثلاث طبقات من البروتين التي تغلف الجينوم (المجين) وبروتيناته البنيوية التي توجد على شكل ذُرَيْرات تنتشر من شخص إلى آخر وتسمى VPS ويتم ترقيمها.

يكون البروتين VP7 السطح الخارجي ويمتلئ بأشواك البروتين VP4، وهذان البروتينان يثيران الارتكاس المناعي للمصاب - وبهذا يقومان بدور أساسي في اللقاحات - كما يسهل البروتين VP4 دخول الڤيروس إلى الخلايا - كما يفعل الشيء نفسه البروتينان VP5 و VP8 (*لم يظهرا في الشكل*)، اللذان ينتجان من انشطار البروتين VP4 داخل الجسم.

أما البروتين VP6 فيشكل الطبقة المتوسطة وهي أساسية بالاستنساخ الوراثي لتركيب البروتينات في الخلية المصابة. ويكون البروتين VP2 الطبقة الداخلية. أما البروتينان VP1 و VP3 فهما إنزيمان يعملان على نسخ جينات الڤيروس.

والجينوم مكون من إحدى عشرة قطعة من خيط الرنا المزدوج ملفوفا بشدة على نفسه، وهذه القطع تكوِّد البروتينات VPS وكذلك البروتينات غير البنيوية وتشمل ذيفانا اسمه NSPS4 يتشكل بعد دخول الڤيروس الخلايا.



أي خطر حيوي) كما لو كان ضد الڤيروس نفسه - وكما هي الحال في المناعة الطبيعية فإنه في حالة الإصابة بالڤيروس نفسه المسبب للمرض فإن الجهاز المناعي يكون مستعدا لإفراز الأضداد أو لتحريكها.

ومنذ عشرين سنة اهتمت شركات أدوية كثيرة بإنتاج لقاح ضد الروتاڤيروس. مع احتمال سوق كبيرة الحجم وذات توزيع عالمي، واتضح أن السعر العالي لتكلفة إنتاج اللقاح سيكون معقولا. إضافة إلى أن توزيعه سيكون سهلا حتى في الأمكنة البعيدة، ويمكن إضافة لقاح الروتاڤيروس إلى البرنامج العالمي لتطعيم الأطفال برعاية منظمة الصحة العالمية وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي للأطفال (اليونيسيف)، الذي يغطي نحو ثمانين في المئة من اللقاحات الروتينية لأطفال العالم.

وعلى الرغم من أن سبلا عديدة لإنتاج اللقاحات تم طرقها سواء كانت سلالات آدمية أو حيوانية - ڤيروسات حية أو مقتولة، الڤيروس كاملا أو بروتيناته فقط، اتبع باحثو الروتاڤيروس طريقة <A. سابين> [مكتشف لقاح شلل الأطفال] بالإعطاء عن طريق الفم. لقد اعتقد <سابين> أن اللقاحات الحية يمكنها التكاثر ولكنها ضعيفة وغير قادرة على إحداث المرض، بل تماثل الوقاية الناتجة من الإصابة الطبيعية بالعدوى. وأيضا في حالة الروتاڤيروس فإن اللقاحات عن طريق الفم تسرع الاستجابة المناعية في المكان المطلوب، ألا وهو القناة الهضمية. وبسرعة ركز مصنعو اللقاح على الڤيروس الحي الذي تم إضعافه وبخاصة سلالات الروتاڤيروس التي يمكن تناولها عن طريق الفم وليس عن طريق الحقن بالإبر.

وفي عام 1983 كان أول لقاح ضد الروتاڤيروس جاهزا للاختبار، فقد قام <F. أندريه> [من شركة سميث كلاين (RIT) (حاليا گلاكسو سميث كلاين للدواء) في ركينسارت - بلجيكا] و<T. ڤيسيكاري> [طبيب أطفال في جامعة تامبير في فنلندا] بإعداد واختبار لقاح مستخرج من سلالة للروتاڤيروس موجودة في الأبقار. واختارا سلالة بقرية من الروتاڤيروس، لأنها تمكنت من النمو جيدا في المزارع واعتقد أنه سيتم إضعافها طبيعيا في الإنسان.

وبجميع المقاييس، فإن أول محاولة تمت في فنلندا تعتبر نجاحا رائدا. وقد نجح اللقاح في إنقاص احتمالات الإصابة الشديدة بالمرض عند الأطفال الذين تم إعطاؤهم اللقاح بنسبة

(*) Rotavirus up Close

كيف يهاجم الروتاڤيروس(*)



88 في المئة، وظهر أن المناعة يمكن استثارتها بوساطة لقاح يتم تناوله عن طريق الفم. إضافة إلى أن اللقاح لم يكن له أي آثار جانبية مزعجة. ومتشجعة بهذه النتائج بدأت الشركة سميث كلاين (RIT) بمحاولات في دول أخرى. وبحلول أواخر الثمانينات، بدأ الشعور بأن الوفيات بسبب الإصابة بالروتاڤيروس أصبحت تحت السيطرة. ولكن نتيجة المحاولات في إفريقيا والبيرو أثبتت عدم تطابقها مع النتائج السابقة وكانت محبطة. وبسبب عدم التأكد من أسباب المشكلة، وعلى الرغم من أن النظم الصحية وعدم علاج الإنتانات وسوء التغذية والإصابة بالطفيليات - جميعها عوامل معروفة تؤثر في الاستجابة المناعية للقاح - فقد أوقفت الشركة برنامج إنتاج اللقاح.

العودة إلى اللجنة المخططة لإنتاج اللقاح(**)

رأى الباحثون في معاهد الصحة الوطنية (NIH) وفي مؤسسة فيستار بفيلادلفيا - في الولايات المتحدة - أن سبب فشل اللقاح الذي أنتجته الشركة RIT ربما يعود إلى أن الڤيروس البقري المستخدم أُضعف بشدة، لدرجة أنه لم يكن قادرا على التكاثر واستثارة استجابة مناعية تحت الظروف غير الملائمة. وبدأ العلماء رحلة البحث عن تركيبات جديدة: فمثلا تعرف <A. كيبكيان> [من معاهد الصحة الوطنية] سلالة من الڤيروس تصيب قرد الريزس، في حين تعرف <F. كلارك> و<S. بلوتكن> [من مؤسسة فيستار] سلالةً بقرية أخرى من الڤيروس يمكنها التكاثر بسرعة أكثر. وقد تم إعداد

(*) Wreaking Havoc: How Rotavirus Attacks
(**) Back to the Drawing Board

هذه السلالات لاستخدامها في الاختبارات السريرية على الإنسان، ولكن هذه أيضا أظهرت كلا من النجاح والفشل، وقد اتضح الاحتياج لسنين أخرى لإعادة التفكير في الأسس العلمية.

وفي الوقت نفسه، بدأ علماء آخرون بتعرّف التركيب الجزيئي للڤيروس. وعلى الرغم من مظهره في المقطع العرضي للڤيروس الذي يشبه العجلة، فإن الروتاڤيروس يتكون فعلا من كرة ذات ثلاث طبقات تحتوي على 11 قطعة من شريط الرنا المزدوج، وكل منها تحتوي على جينة (مورثة) واحدة تكون الكود الوراثي لبروتين محدد. وهذه البروتينات تتكون من نوعين رئيسيين: النوع الأول تركيبي (يحدد تركيب الڤيروس) والآخر غير تركيبي (يتكون داخل الخلايا المصابة). والبروتينات التركيبية للڤيروس تم ترقيمها إلى VP1 و VP2 وهكذا... وكذلك البروتينات غير التركيبية (NSP) التي تشارك في تكاثر الڤيروس وفي الإخلال بوظائف الأمعاء.

وكانت الطبقة الخارجية في تركيب الڤيروس مهمة في تتبع الاستجابة المناعية عند الحاضن للڤيروس، وبؤرة الاهتمام في إنتاج اللقاح. والبروتين رقم 7 (VP7) يشكل السطح المتكوم للڤيروس، في حين أن البروتين رقم 4 (VP4) يشكل الأشواك على السطح الخارجي للعجلة. والبروتين رقم 6 (VP6) البروتين الأكثر توافرا يتوضع تحت البروتين رقم 7 ويشارك في إنتاج بروتينات الڤيروس ضمن الخلايا المصابة ـ أما البروتين غير التركيبي والمسمى (NSP4) فهو ذيفان قد يقوم بدور في حدوث الإسهال الشديد.

وهناك أشكال عديدة للبروتينات وسلالات عديدة تُكون خلطات مختلفة من البروتينات. وعندما تحدث إصابة لنفس الخلية بسلالتين من الڤيروس ـ تنسق قطع جينات الڤيروس نفسها كما لو كانت أرقاما في ماكينة شراء، ولتكون تشكيلات عديدة تؤدي إلى أنواع جديدة من الڤيروس. ويتم تكوين أنواع جديدة من هذه الڤيروسات باستمرار، ولكن كما هي الحال في معظم الطفرات ـ القليل منها يسمح باستمرار الڤيروس في الحياة، وبناء على ذلك فإن من بين الـ42 سلالة من الروتاڤيروس التي تم تعرفها (حتى كتابة هذه المقالة). واعتمادا على تركيبها من أنواع البروتينات VP7 و VP4 فإن أربعة أو خمسة أنواع فقط تشكل أكثر من 90 في المئة من مرض الروتاڤيروس في العالم.

وبتعرف القدرة الطبيعية للروتاڤيروس بترتيب جيناته، اكتشف العالم <كابيكيان> وزميله <H. كرينبرك> [في معاهد الصحة الوطنية (NIH)] طريقة مختبرية لإنتاج تشكيلات لها فائدة في إنتاج اللقاحات ولكنها لا تسبب الإصابة بالمرض. وقد بدؤوا بإعادة تشكيل ڤيروس مكون من مزيج من عشر جينات من الروتاڤيروس الذي يصيب القرود ـ بإعطائه خاصية الإضعاف وبه جينة واحدة تكود للبروتين السطحي (بروتين الطبقة الخارجية) (VP7) من سلالة بشرية. وقد تم عمل ثلاثة من هذه التشكيلات وكل منها يحتوي على نوع مختلف من البروتين الآدمي VP7 وأحدها من سلالة ڤيروس الريزس الصافي ونوع رابع من البروتين VP7 يوجد في كل من الإنسان والريزس، وقد مزجوا الأنواع الأربعة في خليط يسمى اللقاح الرباعي التكافؤ ليعطي وقاية ضد السلالات الآدمية الأربع الأكثر انتشارا من الروتاڤيروس.

وفي عام 1991 منحت هيئة الغذاء والأدوية (FDA) شركة ويرث إيرست (التي سميت فيما بعد ويرث للصيدلانيات) الإذن بصنع واختبار هذا اللقاح، الذي تم إعطاؤه اسم «روتاشيلد». وعلى مدى السنوات الخمس التالية قامت بإجراء تجارب سريرية على نطاق واسع في الولايات المتحدة وفنلندا وفنزويلا للتحقق من سلامة

إنتاج لقاح للروتاڤيروس (*)

نوعان من لقاحات الروتاڤيروس التي ثبتت كفاءتها العالية حديثا في التجارب السريرية سيتم عرض أشكال لها في الأسفل.

روتاريكس

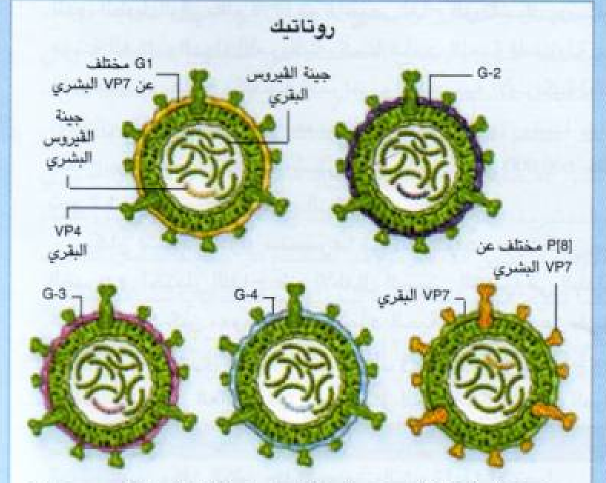
G1 مختلف عن VP7 البروتيني

P[8] مختلف عن VP4 البروتيني

جينة الڤيروس

تصنعه شركة گلاكسو سميث كلاين ـ روتاريكس يتكون من سلالة واحدة من الروتاڤيروس المُعدية للإنسان والتي تعطي مناعة ضد سلالات كثيرة. ويحتوي اللقاح على أنواع مختلفة من البروتينات VP7 و VP4 و C-1 P[8] على التوالي. ويسبب أن هذا الڤيروس الآدمي يمكن أن يؤدي إلى حدوث المرض إذا كان بكامل كفاءته فقد أضعفه المنتج من خلال طريقة عادية لزراعة الأنسجة التي تمنعه من أن يؤدي لحدوث أعراض المرض ولكن تمكنه من التكاثر بدرجة كافية لتحفيز الاستجابة المناعية.

روتاتيك



تصنعه شركة Merck، يحتوي الروتاتيك على خمسة أشكال من الڤيروس متمايزة من بعضها وراثيا. هذه الأشكال ناتجة من مزج عشرة أنواع من جينات الروتاڤيروس التي تصيب الأبقار، مع واحد من خمسة أنواع من جينات الروتاڤيروس البشرية. ولذلك يتكون من ڤيروسات أساسا بقرية تحتوي على بروتين على السطح من ڤيروس بشري. أربع من هذه التشكيلات لديها جينة تكود للبروتين VP7، أو C-1، C-2، C-3، C-4. وواحد من هذه الأنواع يحمل جينة P8: شكل من أشكال البروتين VP4، والنتيجة النهائية هي لقاح خماسي التكافؤ يقي بخاصة ضد أربع سلالات بشرية من الروتاڤيروس وأكثرها انتشارا. إضافة إلى ذلك فيه كثير من الجينات البقرية التي تسبب أمراضا عند البشر.

(*) Making a Rotavirus Vaccine



الطفل أندرو ـ كان أحد أفراد دراسة واسعة النطاق ـ تم إجراؤها لتقييم سلامة وكفاءة لقاح الروتاتيك.

وكفاءة وقدرة اللقاح روتاشيلد على إحداث استجابة مناعية على المدى الطويل. وفي عام 1998 تم ترخيص لقاح الروتاشيلد بوساطة هيئة الغذاء والدواء الأمريكية، كما قامت اللجنة المسؤولة عن اللقاحات في هيئة مكافحة الأمراض والأكاديمية الأمريكية لطب الأطفال بالتوصية بأن يلقح جميع الأطفال الأمريكيين روتينيا بهذا اللقاح. وفي غضون تسعة أشهر تلقى ما يزيد على 600 000 طفل نحو 1.2 مليون جرعة من لقاح الروتاشيلد.

وكان اتخاذ القرار متسرعا في ذلك الوقت، حيث كان من الضروري اختبار اللقاح على الأطفال السيئي التغذية في البلدان النامية، حيث كان معروفا أن اللقاحات الحية التي تؤخذ عن طريق الفم لأمراض أخرى ـ منها شلل الأطفال والكوليرا ـ أقل كفاءة من جهات أخرى في العالم. وظل أيضا سعر الجرعة مكلفا لمعظم الدول النامية. ولكن للمرة الأولى وُجدت في العالم طريقة لمحاربة الروتاڤيروس وكان الكثير منا يشعرون بالنشوة لهذا الانتصار.

وبعد ذلك حلت الكارثة في عام 1999 حيث عانى العديد من الأطفال إحدى المضاعفات الشديدة بعد أسبوعين من تناول اللقاح عندما دخل جزء من الأمعاء داخل الجزء الذي يجاوره (مثلما يدخل جزء من **المقراب** telescope داخل الآخر) مسببا انسدادا في الأمعاء يسمى الانغلاف، وهذه الحالة تسبب آلاما مبرحة ويجب إعادة الأمعاء بسرعة إلى وضعها الطبيعي بوساطة حقنة شرجية بالهواء أو السوائل أو بوساطة التدخل الجراحي. وفي أحوال نادرة تنثقب الأمعاء ويموت الطفل. ولذلك أصدر مركز مكافحة الأمراض (CDC) قرارا بالإيقاف الفوري لبرنامج التطعيم، مُغرقة بذلك اللقاح الذي استغرق خمسة عشر عاما من الأبحاث والتجارب وتكلف عدة مئات الملايين من الدولارات لكي يطفو على السطح.

وقد تم مبدئيا تقدير نسبة حدوث انغلاف الأمعاء بنحو واحد لكل 2500 ملقح، مما اعتبر غير مقبول. ولكن الدراسات التالية أثبتت أن النسبة واحد لكل 11 000 (واحد لكل أحد عشر ألفا). وبعد ذلك قارن <L. اسيمونسن> [في المعاهد الوطنية للصحة (NIH)] نسبة الخطورة طبقا للسن، ووجد أن الخطورة في الأطفال الأصغر من سن ثلاثة أشهر أقل منها في الأطفال الأكبر سنا. ولهذا فإن اللقاح إذا أعطي فقط للأطفال الصغار فإن نسبة الانغلاف تقل عشر مرات وربما واحد لكل 30 000.

وقد أدت هذه النتائج الجديدة إلى أسئلة جديدة: هل هذه الخطورة مقبولة في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث يتم قبول المصابين في المستشفى ونادرا ما يموتون بسبب الروتاڤيروس؟ هل كانت الخطورة مقبولة أكثر في البلاد النامية، حيث يموت واحد من كل 200 طفل مصابين بالروتاڤيروس؟ ولو أمكن إنقاذ 150 روحا من كل اختلاط بسبب الانغلاف ـ هل يمكن قبول هذه الخطورة؟ وبمعرفة هذه الإحصائيات ـ هل هو غير أخلاقي أن يُمنع اللقاح الذي يمكن أن ينقذ نصف مليون روح في العام؟ ومن دون الأخذ في الاعتبار نتائج تحاليل مقارنة الفوائد والمخاطر هل هو غير أخلاقي أن يسوّق اللقاح في الدول النامية في حين يتم سحبه من الولايات المتحدة؟

هنا دعا كل من مركز مكافحة الأمراض ومنظمة الصحة العالمية إلى عقد اجتماع بين صانعي القرار في الدول النامية. وبعد مناقشات حامية الوطيس ـ انحنى العلم للسياسة، حيث قال أحد صانعي القرار من ذوي الشأن من الهند «أنا أعلم أن هذا اللقاح سينقذ 100 000 طفل في وطني، ولكن عندما تحدث أول حالة انسداد أمعاء لن يغفر لي أحد موافقتي على استخدام لقاح تم سحبه من الولايات المتحدة ليستخدم في وطني.»

عودة إلى الطريق الصحيح(*)

استمر الباحثون في دراسة العلاقة بين اللقاح والانغلاف. فالأطفال الذين يصابون بالروتاڤيروس عن طريق العدوى لا يحدث عندهم انغلاف بنسبة أعلى من الأطفال الآخرين ـ إذًا لماذا يزيد اللقاح لذاته هذه الخطورة؟ بدأ البعض يشكّ في أن المشكلة خاصة بسلالات الريزس وليست ناتجة من جميع الأنواع الحية من لقاح الروتاڤيروس الذي يؤخذ بالفم.

ولثقتهم بأن مشكلة الانغلاف يمكن التغلب عليها ـ جدد اثنان من منتجي اللقاحات اهتمامهم بالروتاڤيروس. لقد قامت شركة گلاكسو سميث كلاين بتطوير برنامجها وتقدمت بلقاح جديد أحادي التكافؤ منتج كليا من سلالة آدمية واحدة تم إضعافها. ولأن العدوى الطبيعية بالروتاڤيروس لا يصاحبها حدوث الانغلاف، استنتج العلماء أنه بالمثل لن يتسبب اللقاح في زيادة حدوث هذا الاختلاط. إضافة إلى أن الشركة ستقوم باختبار أطفال الدراسة ممن تراوح أعمارهم بين ستة و ثلاثة عشر أسبوعا ـ وهي فترة من العمر نادرا ما يحدث فيها الانغلاف. وفي الوقت نفسه أنتجت شركة «ميرك» لقاحا خماسي القوة يحتوي على خمس سلالات مزيج من البشرية والبقرية وهي موجهة ضد غالبية سلالات الروتاڤيروس. وكان علماء شركة ميرك يعلمون أن السلالات البقرية لم تكن تنمو أو تتكاثر مثل سلالة الريزس وأيضا لم تكن تسبب ارتفاعا بسيطا في الحرارة،

(*) Back on Track

التي حدثت لأطفال كثيرين ممن تم تطعيمهم بلقاح الريزس ـ وأيضا فإن الشركة ستقصر التجارب السريرية على الأطفال بعمر ستة إلى اثني عشر أسبوعا فقط.

واجهت كل من الشركتين طلب هيئة الغذاء والدواء الأمريكية بإجراء التجارب السريرية، لأن الهيئة أرادت التأكيد أن الجيل التالي من لقاح الروتافيروس سيكون أشد أمانا من «روتاشيلد»، وصممت على أن تُجرى التجارب السريرية على أعداد كبيرة لاكتشاف أية خطورة مهما كان حجمها صغيرا ـ ناتجة من استخدام اللقاح. وكان الهدف في البداية 60 000 مشترك لكل تجربة وبذلك كانت أكبر وأغلى دراسات لاختبار الأمان لأي لقاح سبق اختباره قبل ترخيصه. ولم تكن فقط الاختبارات مرتفعة التكاليف ولكن الإجراء نفسه كان ذا خطورة ـ كل ذلك سينهار مباشرة لو أن نسبة الانغلاف بين الأطفال المطعمين زادت على نسبة الأطفال الذين لم يتم تطعيمهم ـ واستمرت التجارب تحفُّها بعض المخاوف.

والآن ـ بعد ست سنوات من جدل الانغلاف ـ بدأ رهان الروتافيروس يُؤتي ثماره: أتمت شركتا گلاكسو سميث كلاين وميرك التجارب السريرية، وكانت نتائج اللقاحين مشجعة ونتج منها 85 - 95% وقاية ضد الإسهال الشديد الناتج من الروتافيروس، إضافة إلى أن اللقاحين لم يُحدثا أي زيادة في نسبة الانغلاف عن الأطفال الذين لم يتم تطعيمهم.

وتم اختبار لقاح گلاكسو سميث كلاين «روتاريكس» Rotarix أولا في أمريكا اللاتينية. ومنذ عام 2004 حصل اللقاح على الموافقة من عشرين دولة وحديثا من الاتحاد الأوروبي وتتم مراجعته حاليا في الولايات المتحدة. وعلى العكس ركزت شركة ميرك هدفها على التسويق في الولايات المتحدة أولا ـ راغبة في أن تثبت أن لقاحها «روتاتيك» Rotateq يتميز بالسلامة هناك ـ قبل إدخاله إلى أي مكان آخر من العالم. وقد حازت الشركةُ الموافقةَ في المكسيك والولايات المتحدة ـ وتتوقع الحصول عليها في أوروبا هذا العام ـ وهذه الموافقات تمهد لإدخاله في دول عديدة.

وأيضا يهتم صانعو اللقاح في الدول النامية بالروتافيروس. ولقاح الروتافيروس لا يحتاج إلى تقانة الهندسة الحيوية المعقدة ـ فهو مثل لقاح شلل الأطفال يمكن إنتاجه باستخدام طرق زراعة الأنسجة التقليدية. وهذا في متناول أيدي الشركات الصغيرة ـ اليوم يوجد أكثر من عشر شركات منتجة للقاح في الهند والصين وأندونيسيا والبرازيل تُجهِّز لقاحا حيا للروتافيروس عن طريق الفم، وقد حصلت شركة صينية فعلا على الموافقة لبيع منتجها.

تحديات المستقبل(*)

إن توقع التوصل إلى لقاحات جديدة يثير الأمل في أن قبضة الروتافيروس سوف يتم كسرها قريبا. ولكن مازالت هناك بعض العقبات، لأن الكثير من صانعي القرار في الدول النامية لم يسمعوا حتى الآن عن الروتافيروس ولا يمكنهم فهم عواقبه المرعبة. وقد أسفرت الجهود الاستطلاعية في أكثر من أربعين دولة ـ قام بها <J. بريسي> و <D.U. باراشار> [من مركز مكافحة الأمراض] مع منظمة الصحة العالمية وبرنامج التقانة الملائمة في الصحة ـ عن أنهم مازالوا في بداية الطريق لتزويد صانعي القرار بما يحتاجون إليه من معلومات قبل أن يرحبوا باللقاح في دولهم، إضافة إلى أن المعلومات الأكيدة حول تناول اللقاحات الحية بالفم في أفقر مناطق العالم آمن وشديد الكفاءة مازالت ناقصة ـ إضافة إلى أن اللقاحات التي تكلف مئات الملايين من الدولارات لإنتاج كل منها ـ يجب أن يتحمل نفقاتها هؤلاء المسؤولون عن الـ135 مليون طفل الذين يولدون في العالم كل عام.

وإلى الآن مازال يجري بناء قوة الدفع، والكثيرون منّا يأملون أنه خلال عقد من الزمان سيمكن القضاء على هذا السبب الأعظم للإسهال والقاتل الرئيسي للأطفال في الدول النامية، وذلك بوساطة أقوى وأرخص الأسلحة التي تمتلكها حاليا ألا وهي التطعيم. وبمساعدة مجتمع دولي متعاون وقادر على التنفيذ سوف يمكن ضم الروتافيروس إلى قائمة الكائنات الدقيقة التي أمكن القضاء عليها بالتطعيم، مثل شلل الأطفال والجدري والدفتيريا، التي نُحيت جانبًا وصارت خاملة الذكر. ويأمل علماء الأوبئة أن كون هذا المرض قد أصبح من جديد خامل الذكر ـ كما تميز تاريخيا نظرا للجهل به حينذاك ـ شاهد حقيقي على قوة التطعيم. ■

(*) Future Challenges

المؤلف

Roger I. Glass

رئيس قسم الالتهابات المعدية المعوية الفيروسية في مركز مكافحة الأمراض (CDC) واستاذ مساعد للأطفال والصحة الدولية في جامعة إيموري، وهو أحد قادة علم الأمراض الوبائية. وتؤكد أبحاثه أهمية اللقاحات في منع الأمراض ـ وهو مستشار لمنظمة الصحة العالمية والاتحاد الدولي للمناعة واللقاحات وبرنامج التقانة الملائمة للصحة ـ في عام 1988 حصل على جائزة باستور من «مبادرة لقاحات الأطفال» لأبحاثه على لقاح الروتافيروس ـ ويتقدم المؤلف بالشكر إلى <Ph. دورميتزر> [من كلية الطب في جامعة هارفارد] لمساعدته الفعالة على رسم الأشكال الخاصة بهذه المقالة.

مراجع للاستزادة

Global Illness and Deaths Caused by Rotavirus Disease in Children. U. D. Parashar et al. in *Emerging Infectious Diseases,* Vol. 9, No. 5, pages 565–572; May 2003.

The Future of Rotavirus Vaccines: A Major Setback Leads to New Opportunities. Viewpoint. R. Glass et al. in *Lancet,* Vol. 363, Issue 9420, pages 1547–1550; May 2004.

Safety and Efficacy of an Attenuated Vaccine against Severe Rotavirus Gastroenteritis. G. Ruiz-Palacios et al. in *New England Journal of Medicine,* Vol. 354, pages 11–22; January 5, 2006.

Safety and Efficacy of a Pentavalent Human-Bovine (WC3) Reassortant Rotavirus Vaccine. T. Vesikari et al. in *New England Journal of Medicine,* Vol. 354, pages 23–32; January 5, 2006.

Scientific American, April 2006

منابع القدرة المنمنمة(*)

مع ظهور البطاريات (المدخرات) النانوية، بدأت منابع القدرة أخيرا بالانكماش لتلحق ببقية العناصر الإلكترونية.

<Ch. Q. تشوي>

انكمش الترانزيستور، الذي ظهر منذ عام 1947، من تكتل غير منسجم يصل ارتفاعه إلى نصف بوصة(1) إلى أداة يصل طولها إلى طول بضع مئات من الذرات فقط. وفي المقابل، تحسنت البطاريات (المدخرات) من حيث استطاعتها بمعدّل يقارب واحد من خمسين.

تنشغل حاليا مختبرات بِلْ، التي صنّعت أول ترانزستور، بإعادة اختراع البطارية. والهدف هو تطبيق التقنيات المستخدمة في تصنيع الترانزستورات لإنتاج ـ بالجملة ـ بطارية يمكن إدخالها مع الدوائر الإلكترونية الأخرى على شيبة(2). تقلّص هذه الأداة التي تسمى بطارية نانوية، تقاطيع مساريها (إلكتروداتها) حتى السلّم النانوي.

يُمكّن تصميم البطارية النانوية من إبقائها هاجعة لما لا يقل عن 15 سنة، ربما كمنبع طاقة لمحسّ يراقب النشاط الإشعاعي أو لمحسّ يتعقب تراكم الكيماويات السامة. بعدئذ تكون قادرة على أن تصحو وتعطي على الفور دفقة من الطاقة العالية. كذلك يمكن أن يقود المفهوم إلى أولى البطاريات القادرة على تنظيف مخلفاتها وذلك بتحييد بذور المواد الكيماوية السامة في داخلها وجعلها متعادلة.

تنمية عشب نانوي(**)

تنبثق أصول البطارية النانوية من مغامرة مبكرة لمختبرات بِل لاقتحام التقانة النانوية(3). ففي خريف عام 2002، كانت شركة تقانات لوسنت، الشريكة الأم لمختبرات بِلْ، تحضّر لتأسيس اتحاد نيوجرسي للتقانة النانوية بالمشاركة مع حكومة الولاية ومؤسسة نيوجرسي للتقانة. وكانت الفكرة هي جعل أبحاث الشركة وما تطوره وما تقدمه من خدمات تصنيع النماذج الأولية في متناول باحثي التقانة النانوية في الصناعة والهيئات الأكاديمية والحكومية. وقد بدأ <D. بيشوب> [نائب رئيس أبحاث التقانة النانوية في مختبرات بل] بإلقاء محاضرات لباحثي الشركة كي يتبادلوا الأفكار حول كيفية إيصال أبحاثهم إلى تطبيقات مبتكرة تقدم لأعضاء الاتحاد كي يتابعوا تطويرها.

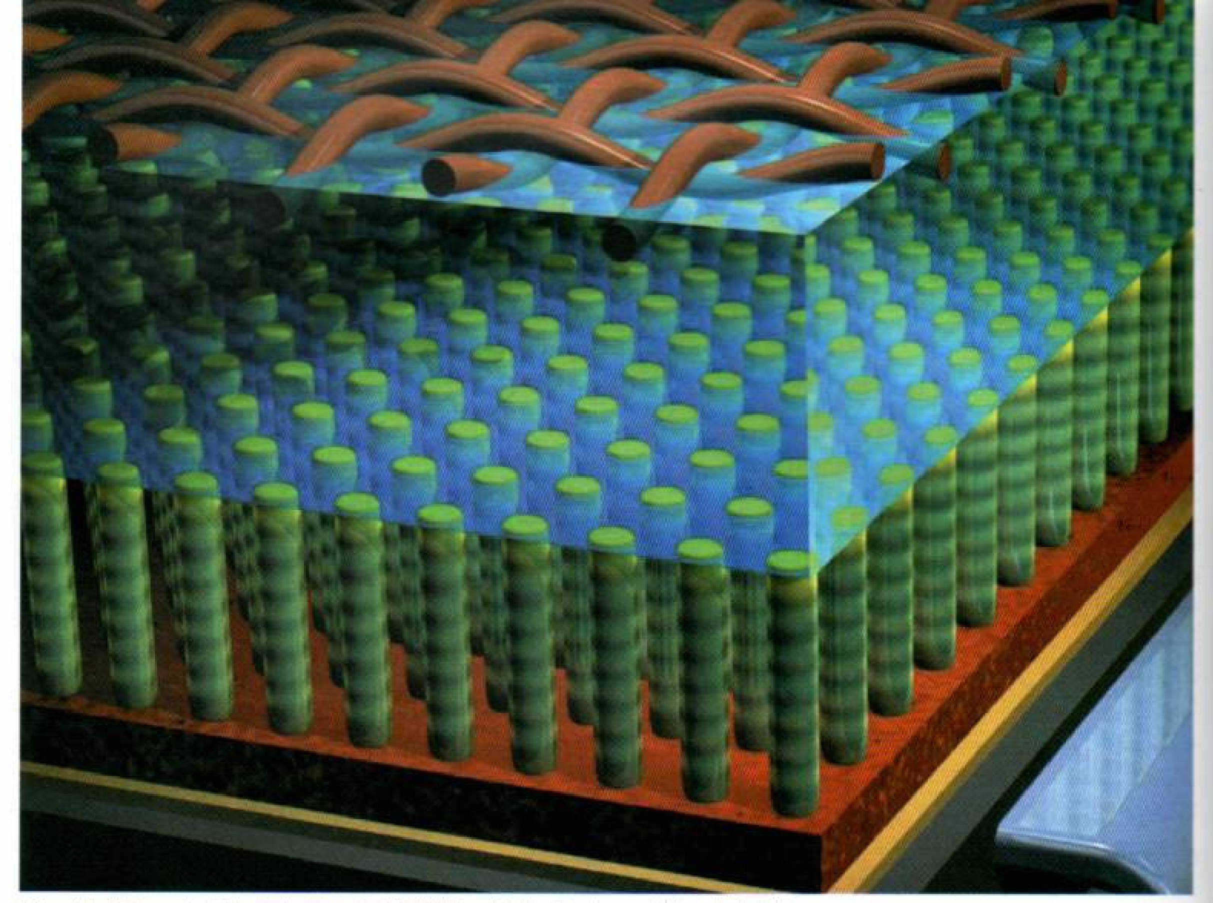
عمل <T. كروپنكن> [أحد محاضري مختبرات بِلْ] على العدسات الميكروية السائلة، ذلك النوع الذي يوجد غالبا في الهواتف الحالية المزودة بكاميرات. تتكون هذه العدسات من قطيرات قادرة على تغيير خصائصها المحرقيّة (البؤرية) نتيجة تغير شكلها استجابة للجهد المطبق على السطح الذي تلامسه. يمكن لهذه السطوح، التي تسمى **السطوح المبلّلة كهربائيا** electrowetting، استجابة لجهد كهربائي مطبق أن تنقلب من **سطوح فائقة الكراهية للماء** superhydrophobic **إلى سطوح محبة للماء** hydrophilic.

إنّ خاصة الكراهية الفائقة للماء هي التي تساعد حبات المطر على التدحرج فوق ريش البط وفوق أوراق اللوتس. فالتوتر السطحي يجعل قطرات السائل تتكوّر، في حين أنّ السطح الصلب الذي ترقد عليه يطبق عليها قوى تجاذبية تشجع انتشارها عليه. فعلى سطوح المواد المحبة للماء مثل الزجاج، يمتد الماء عليها. لكن على المواد الفائقة الكراهية للماء، تتكوّر القطيرات تماما، بحيث لا يظهر أي تفاعل محسوس مع هذه السطوح.

ثم يعلّل كروپنكن، أن بالإمكان التحكم في التفاعل الكيميائي بمساعدة **التبلّل الكهربائي** electrowetting انطلاقا من سلوك القطيرة على سطح فائق الكراهية للماء، فاقترح فكرة تتضمن صفوفا من أعمدة فائقة الكراهية للماء عرض كل منها من مرتبة النانومتر قادرة على أن تسلك سلوك التبلّل الكهربائي. وتماثل هذه الأعمدة تحت المجهر حقلا من «العشب النانوي» المجزوز جزًّا منتظما. ويمكن صنع مثل هذا العشب النانوي بوساطة تقنيات صناعة الشيپات الميكروية النظامية، التي طورت عبر عقود لتعمل على السليكون. وعند تطبيق جهد على السائل، يمكن للعلماء إطلاق تفاعل يؤدي بالأعمدة لتصبح محبة للماء ساحبة القطيرات نحو الأسفل كي تخترق الفجوات ما بين الأعمدة النانوية. عندئذ يمكن للسائل أن يتفاعل مع أي مركب يجثم في الأسفل. وخطرت لـ<كروپنكن> فكرة إمكان استعمال ذلك السائل ليولد قدرة في بطارية نانوية.

إنّ البطاريات في الأساس مفاعلات كيميائية، إذ تتكون البطارية الجاهزة القابلة للاستخدام عند الحاجة من مسريين (إلكترودين): آنود (مصعد) وكاثود (مهبط) في حمام من محلول كهرليتي. وتتفاعل مركّبات مادتي المسريين معا عبر الكهرليت لتولد إلكترونات. ولكن المشكلة هي حدوث هذه التفاعلات الكهركيميائية حتى عندما لا تكون البطاريات موصولة بأدوات. فتخسر

(*) MINIATURIZED POWER
(**) Growing Nanograss
(1) inch
(2) chip
(3) nanotechnology، يذهب البعض إلى تسمية التقانة النانوية بأي تقانة تمكننا من التحكم في المادة ومناولتها بمقاييس من مرتبة مئات النانومتر وما دونها؛ ولكن البعض الآخر يرى أن هذا التعريف فضفاض إلى حد ما. (التحرير)



يتألف العشب النانوي من أعمدة عرض كل منها 300 نانومتر، بما يماثل أوراق العشب. ويشكل هذا مدخلا جديدا أصيلا لصنع بطارية عند إقحامه في بنيتها، فيمكن لها أن تُبقي المحلول الكهربائي السائل فوق العشب النانوي إلى أن يصبح منبع القدرة جاهزا للعمل.

البطارية وسطيا ما بين 7 و 10 في المئة من قدرتها كل سنة عندما لا تكون في الخدمة.

تسخّر ما يسمى بالبطاريات الاحتياطية حواجز فيزيائية للحفاظ على انفصال الكهرليت عن الإلكترودات حتى تفعّل البطارية، فتعطي التفاعلات الكهركيميائية الهائجة الناتجة دفقة عالية من الطاقة. ويفرض التحدي الميكانيكي اللازم لإبقاء الكهرليت بعيدا عن الإلكترودات اللجوء إلى بطاريات ضخمة غليظة، فتجد من ثم استخداماتها في الحالات الطارئة بصورة رئيسية، مثل وحدات العناية المركزة في المستشفيات (المشافي) أو في غرف العمليات، وفي تطبيقات عسكرية مثل نظارات الرؤية الليلية أو الإضاءة بالليزر.

لقد هيّأ اكتشاف العشب النانوي إمكان تصنيع بطاريات احتياطية تسهل نمنمتها كثيرا. إضافة إلى ذلك، يشرح <كروپنكن> بأنه يمكن للباحثين أن يصمموا بطارياتهم لتفعّل جزءا فقط من حقل العشب النانوي كل مرة، عوضا عن جعل كامل الكيماويات تتفاعل مرة واحدة.

بدأت مختبرات بِلّ بتسويق مفهوم العشب النانوي حول العالم. ويقول <بيشوپ> إنّ «الشركة لوسنت ليست شركة بطاريات لكنها ترغب في تطوير البطاريات تطويرا ثوريا.» وفي محاضرة ألقيت في أواخر عام 2003، استمعت شركة تدعى إمفيز mPhase إلى عرض من لوسنت حول البطاريات المعتمدة على التقانة النانوية. وكما يتذكر <S. سيمون> [نائب المدير التنفيذي للبحث والتطوير والهندسة في إمفيز]: فقد تركنا غرفة المحاضرة قائلين هذا رائع وهذه صناعة مباركة. كانت الشركة عندئذ شركة لتصنيع عناصر أجهزة ڤيديو DSL وأجهزة استقبال منزلية، منبثقة عن الشركة نوروك Norwalk, Conn.based Microphase، التي هي بدورها شركة إلكترونيات ميكروية الموجة للصناعات العسكرية والفضائية وللاتصالات البعيدة.

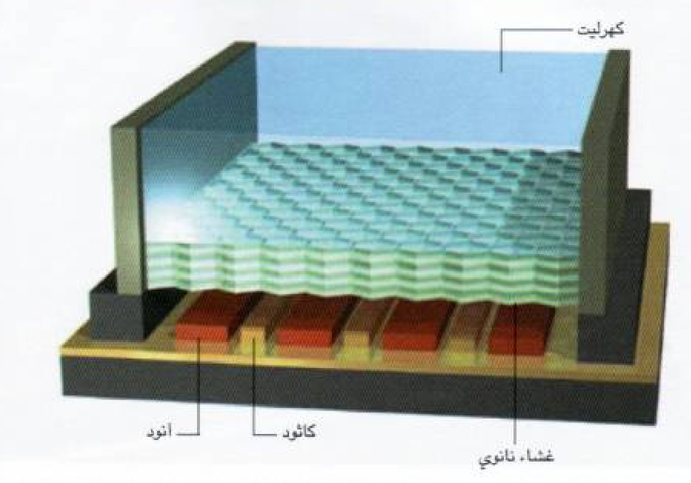
لقد سعى <R. دوراندو> [المدير التنفيذي الرئيسي للشركة إمفيز] - مع ما وصلت إليه عتاديات الاتصالات البعيدة لتصبح سوقا عادية للسلع - إلى أن يعيد طرح شركته كشركة مزوِّدة للتقانة النانوية. وقد أراد على الخصوص أداة لا تحتاج إلى مدة طويلة جدا للتطوير وليس لها استعمالات طبية تحتاج إلى ربطها بالتجارب السريرية الإسعافية، ويمكن لها أن تخدم في سوق عسكرية مدعومة بأسعار أدوات التقانة النانوية ذات الأولوية التي تحكم سوق الإنتاج المبكر. فكانت «البطارية تلبي جميع هذه المطالب،» كما يوضح <سيمون>.

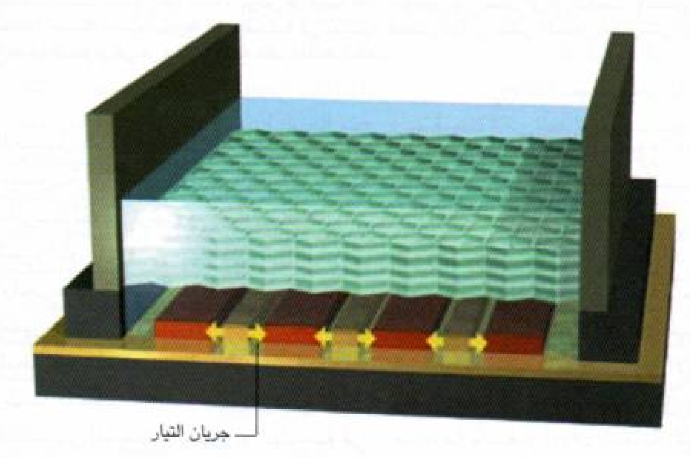
وفي الشهر 2004/3، وقّعت الشركة إمفيز اتفاقية تطوير مشترك لتسويق البطارية النانوية. ففي حين تتحرّى إمفيز عمّا يريده الزبائن المحتملون من البطارية لتصمم أدوات مربحة، تؤمن الشركة لوسنت التراخيص اللازمة للتقانة مقابل حقوق الملكية وفوائد الغرفة النظيفة البالغة تكلفتها 450 مليون

تصميم لبطارية نانوية(*)

تحافظ نسخة أولية لبطارية بنتها شركتا إمفيز ومختبرات بِلْ بوساطة أغشية نانوية على الكهرليت مفصولا عن المسريين (الإلكترودين) الموجب والسالب، أي المصعد (الأنود) والمهبط (الكاثود)، ممّا يعطي عمرا طويلا للبطارية. ففي الحالة البدئية غير النشيطة (*الشكل العلوي*) تقع المصاعد المصنوعة من الزنك والمهابط المصنوعة من ثنائي أكسيد المنغنيز في رقع فوق أرضية البطارية، وهي منفصلة فيزيائيا بعضها عن بعض. ويستقر فوقها غشاء مسامي يشبه قرص النحل، مصنوع من السليكون ومغطى بطبقة من ثنائي أكسيد السليكون وبوليمر من فلوروكربون، وفوق هذا الحاجز يوجد المحلول الكهرليتي من كلور الزنك.

أمّا في الحالة النشطة (*الشكل السفلي*) فيخترق الكهرليت قرص النحل ليغمر بقع المصاعد والمهابط جميعها. وبمجرد اتصال المصاعد والمهابط عبر الكهرليت، سيتفاعل بعضها مع بعض لتولّد كهرباء.





دولار وكذلك مقابل الوصول إلى العلماء ذوي الخبرات في تصنيع السليكون التي تمتد إلى عقود.

السّعي لجعلها تعمل(**)

بحلول الشهر 2004/9، تمكّن العلماء من الوصول في مختبرهم إلى نموذج عملي قادر على توليد تيار كهربائي. وبغية الحصول على نسخة أولية، كان على الفريق إنشاء أعمدة سليكونية عرض كل منها قرابة 300 نانومتر ويبعد أحدها عن الآخر قرابة ميكرونين. وبغية توليد القدرة، وظّف الباحثون مركبات تستخدم عادة في البطاريات القلوية. فمادة الأنود مصنوعة من الزنك ومادة الأنود من ثنائي أكسيد المنغنيز: أمّا الأرضية السليكونية التي ترتكز عليها الأعمدة فكانت مغشاة بالزنك، في حين كانت الأعمدة نفسها مغطاة بثنائي أكسيد السليكون، وهذا سمح للمختبرين التحكم في جهد الأداة. كما كانت رؤوس الأعمدة النانوية مغشاة بطبقة من الفلوروكربون المشابهة للتفلون، وهي التي تبدي سلوك التبلل الكهربائي.

يؤكد <كروبنكن> «أن الأشياء البسيطة فكريا صعبة في جعلها تعمل كما يجب.» فقد شكل وضع الزنك فقط في الأسفل «تحديا هائلا يليه آخر،» كما يتذكر. فلترسيب معادن في أمكنة محددة، يستخدم العلماء نموذجيا، عملية تدعى الطلي الكهربائي. ولكن الطلي الكهربائي لا يعمل مع الأكاسيد مثل ثنائي أكسيد السليكون الموجود في أداة العشب النانوي. لذا كان عليهم إيجاد طريقة يطوّعونها للوصول إلى أرضية السليكون متحررة من ثنائي أكسيد السليكون، مما يسمح للزنك بالنمو عليها، وفي الوقت نفسه عليهم الإبقاء على الأعمدة مغطاة بالأكسيد. وكان على المحلول أيضا أن يطلي الأرضية السليكونية والأعمدة كلتيهما بالأكسيد مع جعل طبقة الأرضية هي الأرق، ثم ينمّش الأكسيد لإزالته من الأداة كلها باستخدام غاز مؤين حتى تتخلص الأرضية من الأكسيد مع بقاء الأعمدة مغطاة به.

ومع ذلك فإن عملية الطلي الكهربائي لا تعمل على السليكون أيضا. ولهذا استعمل الباحثون تقنيات **الكيمياء الرطبة** wet-chemistry لترسيب النيكل أو التيتانيوم على الأرضية كطبقة أساس (بذرة) حتى يلتصق الزنك من خلال عملية الطلي الكهربائي. وقد احتاج إنماء طبقة الزنك نموا منتظما، بحيث لا توجد مرتفعات صغيرة من الزنك في بعض الأمكنة وعدم وجود الزنك في أمكنة أخرى، إلى جهود مضنية من المحاولة والخطأ اعتمادا على تغيير درجات الحرارة والتيارات الكهربائية والتراكيز الكيميائية. ويعلق <سيمون> قائلا: «بالنظر إلى الوراء، فإني أتعجب كيف أنّ ذلك استغرق سنة واحدة فقط.»

بعد أن حصل العلماء على **نسخة أولى** prototype جاهزة للتشغيل، بدؤوا بالحديث والنقاش مع زبائن محتملين. وقد حفزت هذه المناقشات إعادة تشكيل كاملة

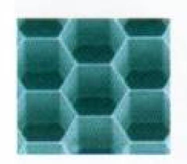
(*) Design for A nanobattery
(**) Getting it to work

للبطارية. إذ كان التصميم الأولي عبارة عن شطيرة يقع الكاثود في أعلاها، ومحلول الكهرليت من كلوريد الزنك في الوسط، والعشب النانوي في الأسفل والآنود في القاع. فقد أبدى مسؤولون من مختبر أبحاث جيش الولايات المتحدة في أدلفي قلقهم ممّا يسببه التماس الدائم ما بين الكهرليت وأي من المسريين من تفاعلات كيميائية غير مرغوبة. وبعد إعادة التصميم، نجد أنّ الكهرليت حاليا يقبع في الأعلى وتشغل مركبات الآنود والكاثود بقعا مفصولة فيزيائيا عند القاع، ويعلّق حاجز سليكوني نانوي بينهما، فيمكّن هذا الحاجز عند تفعيل البطارية من نفاذ الكهرليت ليغمر المساري.

استخدم الفريق في الأصل الأعمدة النانوية لفصل الكهرليت عن الآنود لأن الأعمدة احتلت أقل الحجوم، مبدية سطوحا أكبر للتفاعلات الكيميائية بين هذه المساري. ولكن صعوبة تصنيع أعمدة البطارية النانوية المصممة دفع بالباحثين إلى تطوير غشاء على شكل قرص عسل نانوي لعزل الكهرليت عن المساري. وإنّ إنشاء غشاء كهربائي التبلل ذي مسام على مدى 20 ميكرونا ورقيقا وبجدران رهيفة سمكها قرابة 600 نانومتر كان أيضا تحديا كبيرا. فقد استعمل العلماء، في البدء، البلازما لتمنيش بنية قرص العسل الرهيفة بدءا من رقائق[1] سليكونية مغطاة بثنائي أكسيد السليكون؛ ثم قاموا بتنمية ثنائي أكسيد السليكون على جدران مسامات السليكون العاري في أفران سخنت حتى الدرجة 1000 سلزيّة شرّبت بالأكسجين. وأخيرا طلوا قرص العسل كاملا بالفلوروكربون.

لقد طوّر الباحثون أولى العينات المعاد تصميمها في الشهر 2005/10. إنّ إحدى أهم المزايا الكبيرة للمنظومة الجديدة هي أنها تساعد الفريق على تجنب الشروط الدقيقة والصعبة المطلوبة لنمو طبقة آنود منتظمة وسط غابة من الأعمدة النانوية كل مرة يراد اختبار تركيبات جديدة من الآنود والكاثود. وعوضا عن ذلك، يمكن للباحثين ببساطة وضع رزم المساري (البقع) على سطوح من دون معالم. في الوقت نفسه، فإنّ الخبرة التي اكتسبوها في الطلي الكهربائي تجعل إنشاء البقع أسهل بكثير، كما يشير <سيمون>. وتتعاون حاليا مختبرات بلّ والشركة إمفيز مع جامعة روتگرز في إدخال كيمياء البطاريات المعتمدة على الليثيوم التي توجد في الكاميرات الرقمية والهواتف الخلوية.

قد تسمح البطارية النانوية أيضا باستخدام منبع طاقة أكثر صداقة للبيئة من مثيلاتها مما يتضمن مركبات تستطيع دفن الكهرليت. فيقول <كروپنكن> «إنّ ذلك سيحفظها من أن يتسرب أن ترسل، لكنها إذا استشعرت ذلك فستحتاج إلى الكثير من الطاقة،» كما يشرح <كروپنكن>. يمكن أن يكون الخيار الآخر لأدوات ترصد التغيرات البيئية لإرسال إشارات على مسافات واسعة مما يخفض عدد المحسّات اللازمة. وقد تدخل بطاريات الطوارئ الاحتياطية أيضا في الزروع الطبية أو في الهواتف الخلوية أو في أطواق الإرسال الراديوية المركبة على الحيوانات الأليفة.



يفصل غشاء نانوي الكهرليت عن المساري (الإلكترودات) في تصميم حديث للبطارية.

الكهرليت إلى الأرض أو يتسرب من البطارية إلى جسد الجندي، في حال إصابته.» وقد تستعمل أيضا بنى نانوية پلاستيكية مكان السليكون، ممهدة بذلك الطريق إلى بطاريات نانوية مرنة؛ كما يقول <سيمون>.

لا يبحث العلماء عن بديل للبطاريات الحالية، مادام إنتاجها بالجملة «لا يكلف سوى أجزاء من السنتات لكل بطارية AA،» كما يقول <كروپنكن>، بل يهدفون عوضا عن ذلك، إلى تطبيقات أكثر خصوصية، مثل المحسّات التي تلقى من الطائرات العسكرية، التي تستعمل مرسلاتها الراديوية لمرة أو مرتين فقط خلال عمرها، لترسل إشارة تنبئ بوجود دخلاء فضوليين، على سبيل المثال، أو وجود سميات أو إشعاع. «وإذا لم تر المحسّات أية إشارات ذات أهمية، ليس عليها

يبدأ الفريق حاليا بالنظر في نسخة من بطارياتهم القابلة لإعادة الشحن. فيمكن لنبضة تيار تمر عبر البطارية المستنفدة أن تسبب تسخين السطح الذي يرتكز عليه الكهرليت، مما قد يؤدي إلى تبخّر طبقة رقيقة من السائل مُجْبِرة القطيرات على القفز عائدة إلى قمة البنية النانوية. «إنّ هذا ممكن من حيث المبدأ، لكنه في الواقع بعيد المنال،» كما يحذر <كروپنكن>؛ إذ تتوقع الشركة إمفيز على سبيل المثال، الحصول على عينات منتجة لتزويد المتبنين الأوائل في غضون سنتين أو ثلاث. وستوضح البطاريات النانوية كيف أن منابع القدرة بدأت أخيرا لتلحق بثورة النمنمة التي وجّهت لعقود صناعة عناصر الإلكترونيات الأخرى. ■

(1) wafer

المؤلف

Charles Q. Choi

هو كاتب له مساهمات متعددة في مجلة ساينتفيك أمريكان.

مراجع للاستزادة

From Rolling Ball to Complete Wetting: The Dynamic Tuning of Liquids on Nanostructured Surfaces. T. N. Krupenkin, J. A. Taylor, T. M. Schneider and S. Yang in *Langmuir*, Vol. 20, pages 3824–3827; May 11, 2004.

A film about one phase of development of the nanobattery is available at **www.mphasetech.com/video/mphase.mov**

A Novel Battery Architecture Based on Superhydrophobic Nanostructured Materials. V. A. Lifton and S. Simon. **www.mphasetech.com/nanobattery_architecture.pdf**

Scientific American, February 2006

وهم الثقالة[*]

لعلّ قوة الثقالة وأحد أبعاد الفضاء قد تولّدا من خلال تلك التفاعلات الغريبة بين الجسيمات والحقول الموجودة في عالم بأبعاد أقلّ.

<J. مالداسينا>

هناك ثلاثة أبعاد مكانية مرئية حولنا - فوق/تحت، يمين/يسار، أمام/خلف. وإذا أضفنا الزمن إلى هذا الخليط (البعدي) ينتج مزيج رباعي الأبعاد من الفضاء والزمان يعرف **بالزمكان** space-time. ومن ثم، فنحن نعيش في كون رباعي الأبعاد. أوَ ليس الأمر كذلك؟

ومما يدعو للدهشة أن بعض النظريات الحديثة في الفيزياء يتنبأ بإمكانية أن يكون أحد أبعاد المكان الثلاثة وهمًا - أي إن الجسيمات والمجالات التي تصنع الواقع تتحرك في فضاء ثنائي البعد. ومن الممكن كذلك أن تكون الثقالة[1] جزءا من الوهم؛ أي إنها قوة غير موجودة في الفضاء الثنائي البعد وإنما تتصيّر[2] مع الظهور الوهمي للبعد المكاني الثالث.

وبصورة أكثر دقة، فإن هذه النظريات تتنبأ بأن عدد الأبعاد المكانية يعتمد على منظورنا للأمر؛ فمن الممكن للفيزيائيين أن يتصوروا الواقع على أنه يخضع لمنظومة من القوانين (التي من بينها قانون الثقالة التجاذبي) في فضاء ثلاثي الأبعاد أو، بصورة مكافئة، يتصورونه على أنه يخضع لمنظومة أخرى من القوانين في فضاء ثنائي البعد (يخلو من الثقالة). وعلى الرغم من الاختلاف الجذري بين المنظورين، فإنهما يتمكنان من وصف جميع ما نراه وجميع البيانات التجريبية التي لدينا والمتعلقة بكيفية عمل الكون المحسوس. ولن تكون لدينا الوسيلة لمعرفة أحقية أي من المنظورين.

ولا شك أن هذا المشهد يشد الانتباه، مع أن هناك ظاهرة مثيلة تحدث في الحياة اليومية؛ فالهولوكرام[3] عبارة عن شيء ثنائي البعد، ولكن عند النظر إليه في ظروف إضاءة مناسبة فإننا نرى صورة ثلاثية الأبعاد. إن جميع المعلومات القادرة على توصيف الصورة الثلاثية الأبعاد إنما تكون موجودة بشكل مشفّر في الهولوكرام الثنائي البعد. وبالمثل فإنه من الممكن، بموجب نظريات الفيزياء الحديثة، أن يكون الكون بجملته من نوع الهولوكرام.

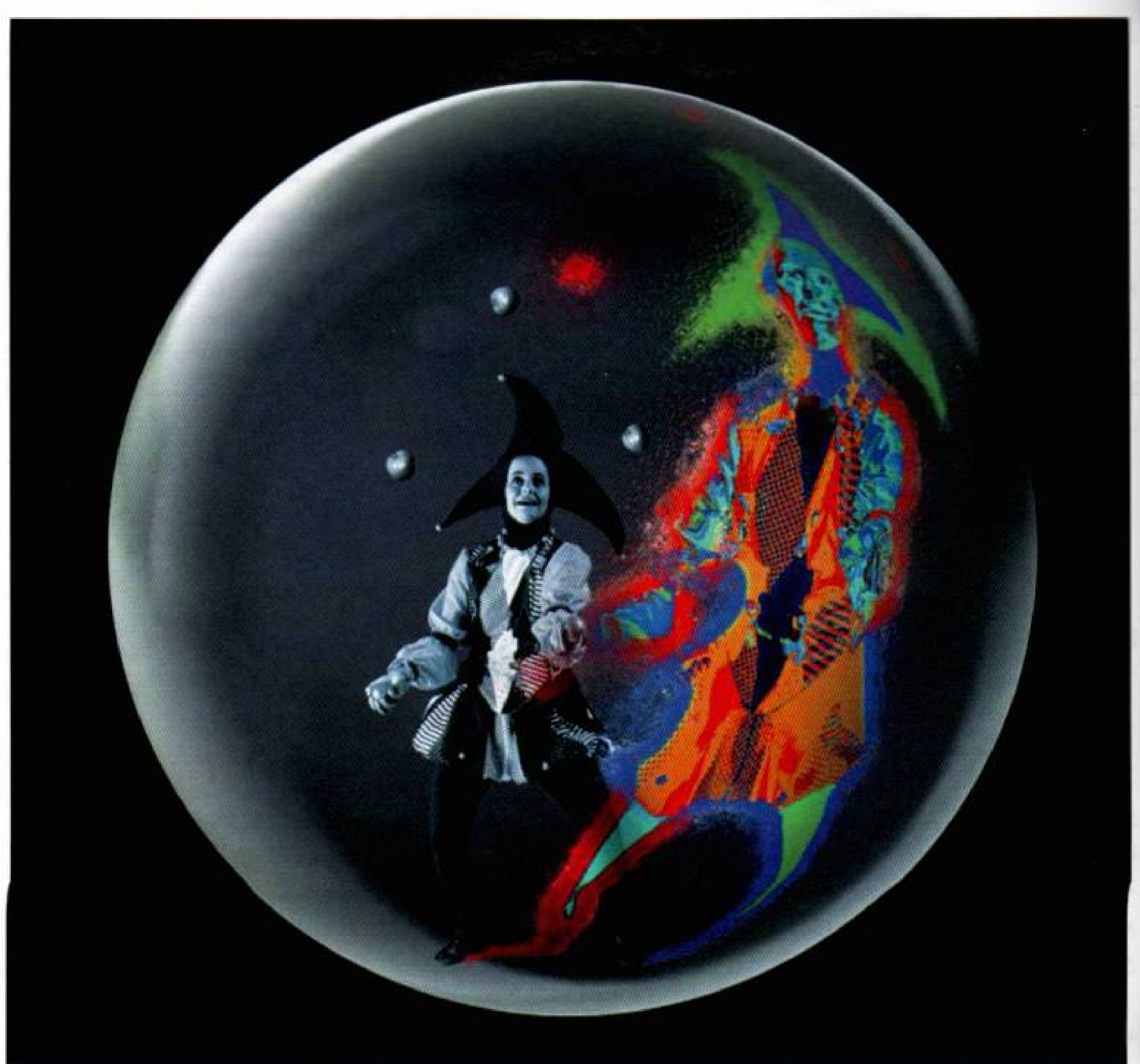
إن الاهتمام بالوصف الهولوكرافي ليس مجرد أمر ذي طبيعة فكرية أو فلسفية؛ فالإجراءات الحسابية التي تكون صعبة في منظور معين قد تصبح سهلة نسبيا في المنظور الآخر، ومن ثم فإن بعض المسائل غير القابلة للمعالجة في الفيزياء يتأتى حلها بسهولة. على سبيل المثال، لقد أثبتت النظرية أنها مفيدة في تحليل إحدى النتائج التجريبية في فيزياء الطاقة العالية. إضافة إلى ذلك فإن النظريات الهولوكرافية تمثل طريقة جديدة للبدء ببناء نظرية كمومية للثقالة[4] - أي نظرية للثقالة تأخذ بالاعتبار مبادئ الميكانيك الكمومي. وتعد النظرية الكمومية للثقالة مكونا محوريا لأي جهد يهدف إلى توحيد جميع القوى في الطبيعة، وهي تلزم لتفسير ما يجري داخل الثقوب السوداء ولتفسير ما جرى في الأجزاء النانوية[5] الأولى التي تلت **الانفجار الأعظم**[6] Big bang. إن النظريات الهولوكرافية تزوّدنا بما قد يكون حلولَ تلك الألغاز التي استعصت على الحل والمتعلّقة بفهم طبيعة النظرية الكمومية للثقالة.

تزاوج عسير[**]

تعتبر النظرية الكمومية للثقالة هدفا يجدّ في البحث عنه جيل كامل من الفيزيائيين نظرا لقدرة القوانين الكمومية على وصف جميع الظواهر الفيزيائية باستثناء الثقالة، مما يجعل الوصف الكمومي إطارا شموليا للنظريات الفيزيائية. لذلك فإن عدم اندراج نظرية الثقالة فيه يعد أمرا غير منطقي. لقد نشأت النظرية الكمومية، التي بلغت من العمر 80 عاما، لوصف سلوك الجسيمات والقوى في العوالم الذرية ودون الذرية. ففي مثل هذه المستويات من الأبعاد تصبح التأثيرات الكمومية ذات أهمية. إن الأجسام لا تمتلك مواضع أو سرعات محددة بموجب النظرية الكمومية وإنما يتم وصفها بدلالة احتمالات وموجات تشغل حيزا من الفضاء. وفي العالم الكمومي، وعلى المستوى الأساسي يكون كل شيء في حالة تدفق دائم، ويشمل ذلك المكان الخاوي (الخلاء)، الذي هو في الحقيقة مملوء بجسيمات افتراضية تظهر وتختفي من الوجود بشكل مستمر.

على النقيض من ذلك، فإن أفضل نظرية يمتلكها الفيزيائيون للثقالة، أي النسبية العامة[7]، هي كلاسيكية في جوهرها (أي غير كمومية). إن عمل أينشتاين البارز، والمتمثل

(*) THE ILLUSION OF GRAVITY
(**) A Difficult Marriage
(1) gravity
(2) materialize
(3) انظر: "Information in the Holographic Universe," by J. D. Bekenstein; *Scientific American*, August 2003
(4) quantum theory of gravity
(5) nanoseconds
(6) انفجار كوني هائل.
(7) general theory of relativity



تربط النظرية الهولوكرافية بين مجموعة من القوانين الفيزيائية الصالحة داخل منطقة حجمية ما وبين مجموعة مختلفة من القوانين الفيزيائية الصالحة في السطح الحدي لهذه المنطقة، وقد مُثّل ذلك في الشكل بالعلاقة بين اللاعب الساحر وصورته الملوّنة الثنائية البعد. تتضمن القوانين الحدية جسيمات كمومية بشحنات لونية تتفاعل معا تماما مثل الكواركات والكليونات في فيزياء الجسيمات المعيارية. أمّا القوانين الداخلية فهي عبارة عن نوع من نظرية الأوتار string theory وتتضمن قوة الثقالة التي من الصعب وصفها بدلالة الميكانيكا الكمومية. ومع ذلك فالفيزياء على السطح وتلك في الداخل متكافئتان، مع أنهما تمثلان وصفين مختلفين بشكل جذري.

في النسبية العامة، يبيّن أن وجود المادة أو الطاقة يؤدي إلى انحناء الزمكان وأن هذا الانحناء يحرف مسارات الجسيمات، تماما كما ينبغي أن يحدث للجسيمات في حقل تجاذبٍ ثقالي. إن النسبية العامة نظرية جميلة، ومعظم تنبؤاتها قد تم التحقق منها بدرجة كبيرة من الصحة.

وفي نظرية معهودة كالنسبية العامة، تمتلك الأجسام مواضع وسرعات محددة، مثل الكواكب في حركتها حول الشمس. ومن تعويض قيم هذه المواضع والسرعات (وكتل هذه الأجسام) في معادلات النسبية العامة يتم استخلاص انحناء الزمكان الذي يمكننا من معرفة تأثير الثقالة في مسارات الأجسام هذه. وأكثر من ذلك فإن الفضاء الخالي أملس تماما بغض النظر عن مستوى تفحّصنا له، فهو مسرح الأحداث الخالي من أيّ تجعّدات والذي تعيش خلاله المادة والطاقة بحرية.

إن مشكلة إيجاد صياغة كمومية للنسبية العامة لا تكمن فقط في أن الجسيمات على مستوى الذرات والإلكترونات لا تمتلك مواضع وسرعات محددة، وإنما الأسوأ من ذلك أنه بموجب المبادئ الكمومية يصبح الزمكان ذاته على المستوى الأكثر دقة، أي في أبعاد يحددها ثابت پلانك (10^{-33}cm)، مثل الرغوة الهائجة شبيها ببحر الجسيمات

الافتراضية التي تملأ الفضاء الخالي. وعندما تصبح المادة والزمكان بهذه الصورة فما الذي تتنبأ به معادلات النسبية العامة؟ الإجابة هي أن هذه المعادلات تصبح غير ملائمة في هذه الحالة، وهكذا يصل بنا افتراضنا خضوع المادة لقوانين الميكانيك الكمومي وخضوع الثقالة للنسبية العامة إلى تناقضات رياضياتية. إن ما يلزم هو نظرية كمومية للثقالة (أي نظرية للثقالة تنضوي في الإطار الكمومي).

وفي معظم الحالات لا يشكل التناقض المشار إليه بين الميكانيك الكمومي والنسبية العامة مشكلة، لأنه في أغلب الحالات تكون إمّا التأثيرات الكمومية أو التأثيرات الثقالية صغيرة جدا، بحيث نستطيع إهمال أحد النوعين من التأثيرات أو التعامل معه بصورة تقريبية. ولكن عندما يكون انحناء الزمكان كبيرا تصبح الاعتبارات الكمومية للثقالة ذات أهمية. ومثل هذا الانحناء الكبير يستلزم تركيزا كبيرا جدا للكتلة، أي كتلة ضخمة لإحداثه، بحيث إن الانحناء الناجم عن كتلة الشمس يعد صغيرا جدا مقارنة بالانحناء الذي تبرز عنده التأثيرات الكمومية للثقالة.

ومع أن هذه التأثيرات مهملة تماما في الوقت الحالي فقد كانت ذات أهمية كبيرة في بداية الانفجار الأعظم، ومن هنا تتضح ضرورة صياغة نظرية كمومية للثقالة لوصف هذه البداية. وكذلك فإن هذه النظرية تلزم لفهم ما يحدث في مركز الثقوب السوداء؛ إذ إن المادة هناك تكون قد سحقت وتموضعت في منطقة من الزمكان بانحناء كبير جدا. ولأن الثقالة تتضمن انحناء الزمكان فمن الضروري أن تكون النظرية الكمومية للثقالة نظرية كمومية للزمكان أيضا؛ أي إنها ينبغي أن توضح ممّ تتكون الرغوة الزمكانية المشار إليها قبل قليل، ومن ثم فإن هذه النظرية ستزودنا بمنظور جديد كليا لطبيعة الزمكان عند أدق المستويات للواقع.

إن نظرية الأوتار التي بدأ بعض الفيزيائيين النظريين باستكشافها منذ سبعينات القرن الماضي تعد مقاربة واعدة لنظرية ثقالة كمومية، لكونها تتغلب على بعض العقبات التي يواجهها مشروع صياغة نظرية كمومية للثقالة مبنية بشكل منطقي ومتناغم. ولكن نظرية الأوتار مازالت في مرحلة البناء وليست مفهومة تماما حتى الآن. فنحن الفيزيائيين النظريين نعرف فقط المعادلات التقريبية التي تحكم سلوك الأوتار ولا نعرف هذه المعادلات بشكلها الدقيق. أيضا فنحن لا نعرف ما هي المبادئ الأساسية الموجِّهة التي ستسمح بتفسير شكل المعادلات، ولا ندري كيف نستخلص العديد من الكميات الفيزيائية من هذه المعادلات.

وفي السنوات الأخيرة، تمكن فيزيائيو الأوتار من التوصل إلى نتائج مهمة ومثيرة بخصوص قدرة نظرية الأوتار على توضيح ماهية الزمكان الكمومي. ولن أتناول نظرية الأوتار بتفصيل كبير هنا[1]، وإنما سأركز الضوء على واحد من أهم التطورات الحديثة التي نجمت عن الأبحاث المتعلقة بنظرية الأوتار والتي أدت إلى وصف كمومي للثقالة مكتمل ومترابط منطقيا فيما يُعرف بالزمكان ذي الانحناء السالب، وهي فكرة تُطرح لأول مرة.

من الممكن لنظرية كمومية للثقالة أن تزودنا بمنظور جديد عن ماهية الزمكان.

وتبدو النظريات الهولوكرافية صحيحةً لمثل هذا النوع من الزمكان.

الزمكان ذو الانحناء السالب(**)

إننا معتادون على الهندسة الإقليدية، حيث المكان مستو وليس منحنيا، وهي هندسة الأشكال المرسومة على ورقات مستوية. وهذه الهندسة تصف، بدرجة عالية من الدقة، العالم المحيط بنا: فالخطوط المتوازية لا تلتقي، وجميع مسلّماتها الأخرى صحيحة.

ونحن معتادون كذلك على بعض الفضاءات المنحنية. وهناك نوعان من الانحناءات: الموجب منها والسالب. وسطح الكرة يعد مثالا لأبسط الفضاءات ذات الانحناءات الموجبة. فللكرة انحناء موجب وثابت، بمعنى أن درجة انحنائها ثابتة عند جميع المواضع على السطح (وليس كسطح البيضة مثلا الذي يزداد انحناؤه عند طرفيها).

ومن أبسط الفضاءات ذات الانحناء السالب **الفضاء الزائدي (الهذلولي المقطع)** hyperbolic space، وهو بالتعريف الفضاء ذو الانحناء السالب والثابت. وقد شد هذا النوع من الفضاءات اهتمام العلماء والفنانين على

نظرة إجمالية/ عوالم متكافئة(*)

- بموجب نظرية لافتة للنظر، فإن كونًا موجودا في فضاء ثنائي البعد وبدون ثقالة قد يكون مكافئا تماما لكون ثلاثي الأبعاد يتضمن الثقالة. فمن الممكن للكون الثلاثي الأبعاد أن ينبثق عن الكون الثنائي البعد بصورة مماثلة لانبثاق الصورة الهولوكرافية من الهولوكرام.
- يوجد الكون الثنائي البعد على حدود الكون الثلاثي الأبعاد، وتبدو الفيزياء عند السطح كما لو كانت كواركات وكليونات متفاعلة مع بعضها بقوة. أما في الفضاء الداخلي، فتتضمن الفيزياء نظرية كمومية للثقالة ـ وهو أمر شبيه بما يحاول فيزيائيو الأوتار string theorists عمله منذ عقود.
- يزودنا هذا التكافؤ بطريقة جديدة لفهم خصائص الثقوب السوداء، التي تستلزم مزيجا ملائما من النظرية الكمومية والثقالة. ومع أنه لم يتم البرهان بالدقة اللازمة على الرياضيات المتعلقة بهذه النظرية، فإنها تبدو مفيدة في تحليل نتائج تجربة حديثة في فيزياء الطاقة العالية.

(*) Overview / Equivalent Worlds

(**) Negatively Curved Spacetimes

(1) أنظر: "The string Theory Lsndscape," by Raphael ousso - Joseph Polchinski; *Scientific American*, September 2004

حدّ سواء. لقد أنتج <C.M. إيشر> العديدَ من الأشكال الجميلة لهذا النوع من الفضاءات يظهر أحدها في هذه *الصفحة*، وصورته تماثل خريطة مستوية للفضاء. إن الكيفية التي تبدو بها السمكة أصغر فأصغر هي مجرد نتاج صنعي لتمثيل الفضاء المنحني على رقيقة مستوية، ويشبه ذلك كيفية تمدّد وتمطّط البلدان القريبة من القطب عند تمثيلها بخريطة مستوية للكرة الأرضية.

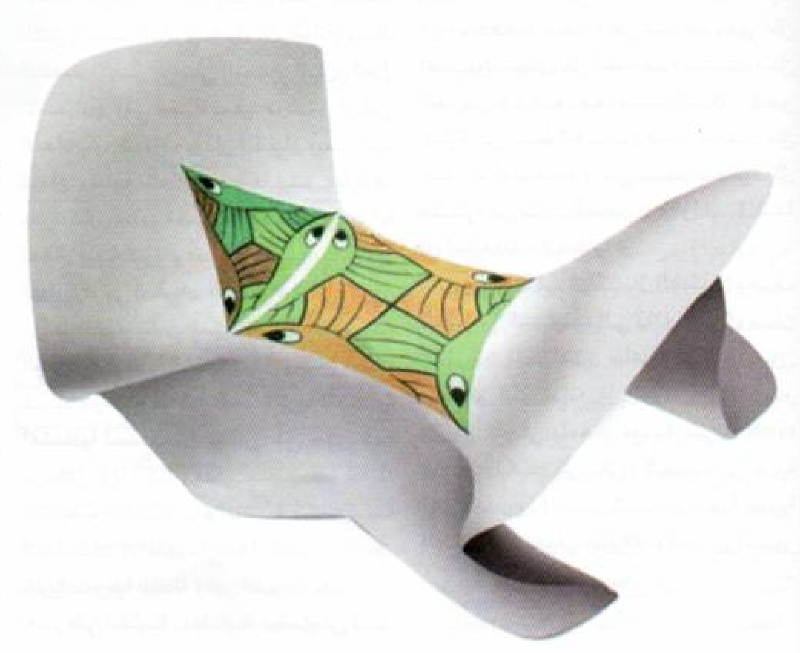
وبتضمين الزمان في هذا السياق، يستطيع الفيزيائيون، بشكل مماثل، دراسة الزمكان ذي الانحناء الموجب والسالب. وأبسط أنواع الزمكان ذي الانحناء الموجب يعرف باسم **فضاء دوسِتر** de Sitter Space؛ وذلك تقديرا للفيزيائي الهولندي <W. دوستر> الذي أدخل هذا المصطلح. ويذهب معظم علماء الكون إلى أن الكون في مراحله المبكرة جدا كان قريبا في شكله الزمكاني من هذا الصنف من الفضاءات. ومن الممكن كذلك أن يكون الكون بالشكل ذاته في المستقبل البعيد بسبب التسارع الكوني. وبشكل معاكس، إن أبسط أنواع الفضاءات من ذوات الانحناء السالب يدعى **فضاء ضديد دوستر** anti- de Sitter space، والذي يشبه **الفضاء الهذلولي** hyperbolic Space باستثناء أن له اتجاها زمانيا أيضا. وعلى النقيض من الكون الذي نعيش فيه، والذي يتمدد، فإن فضاء ضديد دوستر هذا لا يتمدد ولا يتقلص وإنما يبدو بالهيئة ذاتها في جميع الأزمنة. ومع هذا الاختلاف فإن الفضاء النقيض هذا يبدو مفيدا في بناء مشروع نظريات كمومية للزمكان والثقالة.

وإذا ما مثلنا الفضاء الزائدي كقرص، وذلك باتباع طريقة <إيشر> المشار إليها قبل قليل، فإن فضاء ضديد دوستر سيبدو كما لو كان أقراصا متراصة مشكلة أسطوانة صلدة (*انظر الإطار في الصفحة 72*) حيث يدلّ المحور الموازي لطول الأسطوانة على اتّجاه الزمان. وكما أنه من الممكن للفضاء الهذلولي أن يكون له أكثر من بعدين مكانيين فإننا نتوقع أن يمتلك فضاءٌ ضديد دوستر، والأكثر قربا لزمكان كوننا ذي الأبعاد المكانية الثلاثة، طبعةَ إيشر بأبعاد ثلاثة كمقطع عرضي لأسطوانته.

إن للفيزياء في فضاء ضديد دوستر خصائص غريبة. فمثلا لو كنت تطفو بحرية أينما تريد في هذا الفضاء فإنك ستشعر كما لو كنت

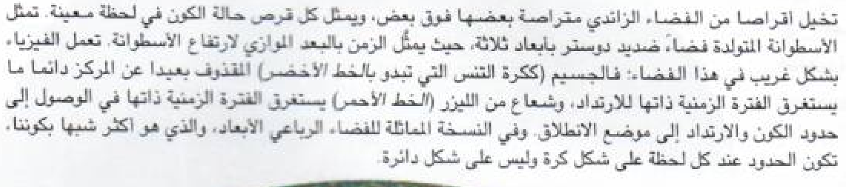


يمثل رسم إيشر في الشكل (*في الأعلى*) الفضاءَ الزائدي (الهذلولي) hyperbolic space. وفي الواقع إن لكل سمكة الجرمَ ذاته، والحد الدائري ذو بعد لامتناه عن المركز. إن عملية إسقاط الفضاء الهذلولي الحقيقي على شكل صورة كما في هذا الرسم تؤدي إلى حشر الأسماك البعيدة لتُوائم الفضاء اللامتناهي في الحجم فيتّسع له داخلَ الدائرة المحددة والمنتهية الحجم. يكون المكان منحنيا بشكل كبير عند غياب عملية الإسقاط وأثر الحشر، ويمثل الشكل *في الأسفل* الصورة الحقيقية لأي مقطع عرضي حيث يبدو كسرج الفرس له عدّة طيّات.



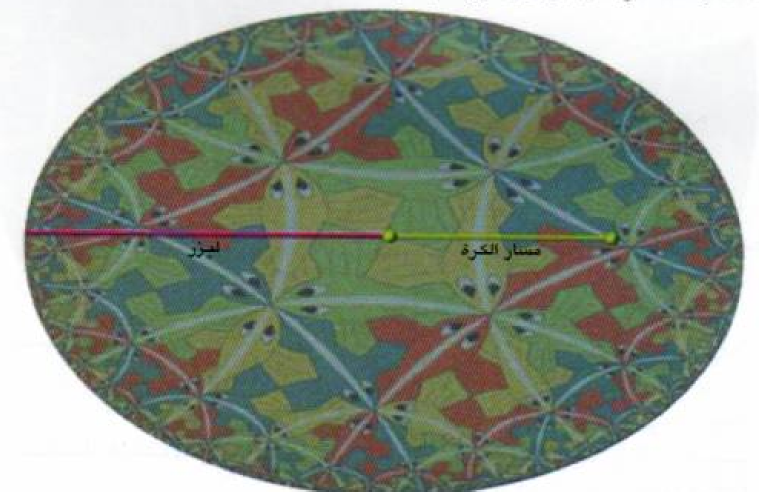
الفضاء ذو الانحناء السالب(*)

تتضمن النظرية الهولوكرافية فضاء بانحناء سالب يعرف باسم فضاء ضديد دوستر.



تخيل أقراصا من الفضاء الزائدي متراصة بعضها فوق بعض، ويمثل كل قرص حالة الكون في لحظة معينة. تمثل الأسطوانة المتولدة فضاءً ضديد دوستر بأبعاد ثلاثة، حيث يمثّل الزمن بالبعد الموازي لارتفاع الأسطوانة. تعمل الفيزياء بشكل غريب في هذا الفضاء: فالجسيم (ككرة التنس التي تبدو *بالخط الأخضر*) المقذوف بعيدا عن المركز دائما ما يستغرق الفترة الزمنية ذاتها للارتداد، وشعاع من الليزر (*الخط الأحمر*) يستغرق الفترة الزمنية ذاتها في الوصول إلى حدود الكون والارتداد إلى موضع الانطلاق. وفي النسخة المماثلة للفضاء الرباعي الأبعاد، والذي هو أكثر شبها بكوننا، تكون الحدود عند كل لحظة على شكل كرة وليس على شكل دائرة.





في قاع بئر تثاقلية، وأي جسمٍ تقذفه سيرتد إليك سريعا. ومما يدعو للدهشة أن الزمن اللازم لعودة الجسم إليك لا يعتمد على سرعة القذف، وإنما يكمن الفرق بين سرعات القذف المختلفة في أن الجسم المقذوف بسرعة أكبر سيبتعد عنك أكثر قبل عودته. وفيما لو أرسلت ومضة ضوئية تتألف من فوتونات تسير بأقصى سرعة ممكنة (سرعة الضوء)، فإنها ستصل إلى اللانهاية[1] ثم تعود إليك خلال فترة زمنية منتهية ومحدودة. ومن الممكن لهذا الأمر أن يحدث لأن الجسم يعاني تقلصا في الزمن بمقدار كبير إلى الدرجة التي نريدها كلما ابتعد عنك أكثر فأكثر.

الهولوكرام(**)

إن لفضاء ضديد دوستر، مع كونه لامتناهيا، حدودا توجد في اللانهاية. ولتمثيل هذه الحدود على الرسم يستخدم الفيزيائيون والرياضياتيون مقياسا للطول غير منتظم يشبه ذلك المستخدَم في رسم إيشر المذكور آنفا، مما يمكنهم من حشر المسافة اللامتناهية في الكبر ضمن مسافة محدودة ومتناهية. وهذه الحدود تشبه المحيط الخارجي لطبعة إيشر أو سطح الأسطوانة الصلدة التي سبق وأشرنا إليها. في مثال الأسطوانة يكون للحدود بعدان، يمثل أحدهما المكان (البعد الدائري حول الأسطوانة) ويمثل البعد الآخر الزمان (المحور الموازي لطول الأسطوانة). وفي فضاء ضديد دوستر الرباعي الأبعاد يكون لحدوده بُعْدان مكانيان وبُعْد واحد للزمان. وتماما مثلما حدود طبعة إيشر عبارة عن دائرة، تكون حدودُ فضاء ضديد دوستر عند أية لحظة زمنية كرة. وعند هذه الحدود يأتي دور الهولوكرام في النظريات الهولوكرافية.

ببساطة، تكمن الفكرة الأساسية في أن النظرية الكمومية للثقالة داخل زمكان فضاء ضديد دوستر تكافئ تماما نظرية كمومية اعتيادية لجسيمات تعيش على حدود هذا الزمكان. وإذا كان هذا صحيحا فإننا نستطيع استخدام النظرية الكمومية للجسيمات (والمفهومة جيدا نسبيا) لتعريف نظرية كمومية للثقالة (غير المفهومة بعد).

وعلى سبيل المقارنة تخيل أن لديك نسختين لعرضٍ سينمائي واحد، إحداهما مخزنة على فيلم بمقاس 70mm والأخرى مخزنة على قرص DVD. إن شكل تخزين العرض يختلف في الحالتين جذريا، حيث إن أحدهما عبارة عن شريط خطي من السليلويد يمثل كل إطارٍ فيه مشهدا من العرض كما نعرفه، فيما الشكل الآخر عبارة عن أسطوانة ثنائية البعد بحلقات من النقاط الممغنطة والتي كانت ستشكّل متتالية من بتّات الصفر 0 والواحد 1 فيما لو استطعنا ملاحظتها.

ومع ذلك فإن كلا الشكلين يصف العرض السينمائي ذاته. وبالمثل فإن النظريتين المختلفتين ظاهريا في المضمون تصفان الكون ذاته. إن القرص DVD يبدو كقرص معدني **بلمعان قوسقزحي** rainbow pattern. وكذلك فإن نظرية الجسيمات الحدية (عند الحدود) تبدو كما لو أنها نظرية للجسيمات بغياب الثقالة. وكما أن الصور

(*) Negatively Curved Spacetime
(**) The Hologram
(1) infinity

تبرز فقط عند المعالجة الصحيحة للبتات في حالة الـDVD، فإن الثقالة الكمومية وبعداً إضافياً آخر يبرزان في نظرية الجسيمات الحدية عند التحليل الصحيح لمعادلاتها.

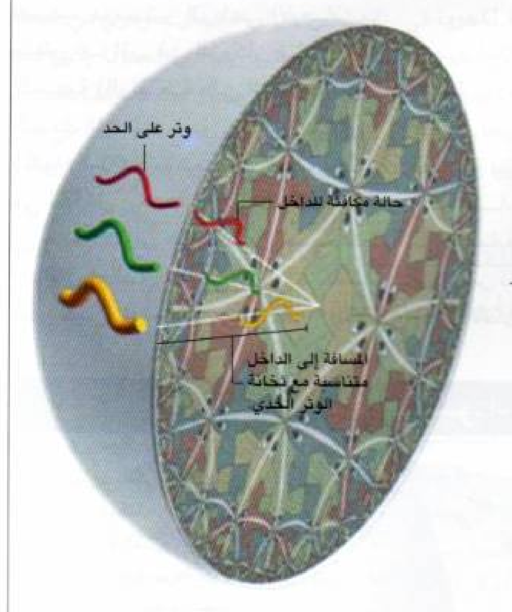
ما المقصود بتكافؤ النظريتين في الواقع الفعلي؟ أولاً يكون لكل كمية في إحدى النظريتين كمية مقابلة في النظرية الأخرى. وهاتان الكميتان قد تكونان مختلفتين كثيرا من جهة كيفية وصفهما ضمن النظريتين؛ فكمية ما في النظرية الداخلية قد تصف جسيما واحدا من صنف ما يعيش في الداخل، فيما تقابلها في النظرية الحدية كمية تصف مجموعة من الجسيمات من صنف آخر. وثانيا فإن تنبؤات الكميات المتقابلة ينبغي أن تكون متماثلة. ولذا فإذا كان احتمال تصادم جسمين هو 40% في الداخل فإن احتمال تصادم المجموعتين المقابلتين من الأجسام في النظرية الحدّية سيكون أيضا 40%.

وهنا سنعرض التكافؤ بإيضاح أكثر أن الجسيمات الموجودة على الحد تتفاعل بطريقة شبيهة جدا بالطريقة التي تتفاعل بها **الكواركات**[1] **والكليونات (الكربونات)** quarks and gluons. وتمتلك الكواركات نوعا من الشحنات يُعرف باسم الألوان، فيما يدعى تفاعل القوة النووية الشديدة باسم **الكرومودیناميك الكمومي (التحريك اللوني الكمومي)** quantum chromodynamics. يكمن الاختلاف بين الجسيمات الموجودة على الحد وبين الكواركات والكليونات في أن هذه الجسيمات تمتلك عددا كبيرا من الألوان وليس ثلاثة فحسب.

لقد قام <G. تهوفت> [من جامعة أوترخت في هولندا] بدراسة مثل هذه النظريات منذ عام 1974، وتنبأ بأن الكليونات عبارة عن سلاسل تسلك سلوك الأوتار في **نظرية الأوتار** string theory. وقد بقيت الطبيعة الدقيقة لهذه الأوتار غير واضحة حتى عام 1981 عندما لاحظ <M .A. پولياكوف> [الذي يعمل في جامعة برينستون] أن هذه الأوتار تعيش في فضاء بأبعاد أكثر من الفضاء الذي تعيش فيه الكليونات. وكما سنرى بعد قليل، ضمن النظريات الهولوكرافية، فإن هذا الفضاء ذا العدد الأكبر من الأبعاد عبارة عن

ابتكار بعد(*)

إن النظرية الهولوكرافية تبين كيف يمكن للكواركات والكليونات المتفاعلة بعضها مع بعض والتي تعيش على حدود فضاء ضديد دوستر أن تكون مكافئة لجسيمات تعيش في الفضاء الداخلي ذي الأبعاد الأكثر عددا.



تتفاعل الكواركات والكليونات عند السطح الكروي لفضاء ضديد دوستر لتشكل أوتارا كل منها بسُمْك مختلف. وتفسير هذه الأوتار بموجب النظرية الهولوكرافية هو أنها تمثل في الفضاء الداخلي جسيمات أولية (وهي أيضا عبارة عن أوتار)، حيث يعبّر سمك كل واحد منها عن بعده عن الحد.



ومن ثم فإن غيوما من الكواركات والكليونات عند السطح تمثل أجساما معقدة في الفضاء الداخلي (*مثل التفاحة المبينة في الشكل*). إن ميزة هذه النظرية الهولوكرافية تكمن في أن الأجسام في الفضاء الداخلي تخضع لقوى الثقالة مع أنه لا وجود للثقالة على السطح.

الفضاء الداخلي لفضاء ضديد دوستر.

وحتى نفهم من أين يأتي البعد الإضافي، دعونا نبدأ باعتبار أحد أوتار الكليونات التي تقع على الحدود. إن لهذا الوتر سمكا، ويرتبط هذا السمك بمقدار انتشار الكليونات المكونة له بالفضاء. وعندما يحسب الفيزيائيون كيف تتفاعل وتتأثر هذه الأوتار الموجودة على حدود فضاء ضديد دوستر مع بعضها، فإنهم يحصلون على نتيجة غريبة جدا وهي أن وترين بسمكين مختلفين لا يتفاعلان معا بشكل كبير. إن هذا يعني أن الأوتار تتصرف كما لو كانت منفصلة عن بعضها مكانيا. ومن ثم فإننا نستطيع النظر إلى سمك الأوتار كما لو كان يمثل بعدا مكانيا جديدا يتجه بعيدا عن الحدود.

وهكذا فإن وترا رقيقا على الحدود يماثل وترا قريبا من الحدود، فيما الوتر

(*) Conjuring A Dimension

(1) الكواركات هي مكونات البروتونات والنيوترونات، والكليونات تولد القوة النووية الشديدة التي تربط الكواركات معا. (التحرير)

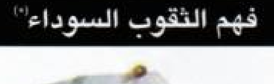
الشخين يماثل وترا بعيدا عن الحدود (*انظر الإطار في الصفحة 73*). وهذا البعد الإضافي هو بالضبط البعد ذاته الذي يلزم لوصف الحركة داخل فضاء ضديد دوستر الرباعي الأبعاد! من منظور مراقب في الزمكان فإن الأوتار الحدية (الواقعة على الحدود) ذوات السمك المختلف تبدو كما لو أنها أوتار (كلّها رقيقة) متموضعة في أمكنة مختلفة في الداخل (بُعْدها عن المركز مختلف). إن عدد الألوان على الحد يحدد حجم الداخل (والذي بدوره يتحدد بنصف قطر **كرة إيشر** Esher-like sphere).

عام 1974 أن النظريات الوترية دائما ما تقود إلى الثقالة الكمومية. ولا تمثل الأوتار التي تكونها الگليونات شذوذا عن هذا، إلا أن الثقالة تعمل في فضاء ذي أبعاد أكبر.

وبهذا فلا تكون المقاربة الهولوگرافية مجرد إمكانية جديدة قوية لنظرية كمومية للثقالة. بالأحرى، وبشكل أساسي، إنها تربط ما بين نظرية الأوتار (المقاربة الأكثر ألفة لصياغة نظرية كمومية للثقالة) وبين نظريات الكواركات والگليونات (وهي الأركان الرئيسية في فيزياء الجسيمات الأولية). وأكثر من ذلك، يبدو أن النظرية الهولوگرافية تقدِّم الأفكار الخلاَّقة وتضيء الطريق نحو

تتفاعل بها الجسيمات الحدية، إلى تنوع في النظريات الداخلية (التي تصف داخل الفضاء). ومن الممكن للنظرية الداخلية أن تتضمن فقط قوى ثقالة، أو قوى الثقالة إضافة إلى قوى أخرى مثل القوة الكهرمغنطيسية، وهكذا. ولكن لسوء الحظ فنحن، حتى الآن، لا نعرف أية نظرية حدية ينتج منها نظرية داخلية تتضمن بالضبط القوى الأربع المعروفة في هذا الكون.

لقد ارتأيت وخمّنتُ أولا أنه من الممكن لهذه المقاربة الهولوگرافية أن تكون مناسبة لنظرية خاصة (كروموديناميكا مبسطة في فضاء حدي للزمكان الرباعي الأبعاد) وذلك في عام 1997. وسرعان ما أثارت هذه الرؤية اهتماما عظيما في وسط المهتمين بالنظرية الوترية. وقد تمت صياغة هذا التخمين وهذه الرؤية بصورة أكثر دقة من قبل <پولياكوف> و<S. S. جوبسر> و <I. R. كليبانوف> [من جامعة برينستون] و <E. ويتن> [من معهد الدراسات المتقدمة في برينستون بولاية نيوجيرسي]. ومنذ ذلك الحين أسهم العديد من الباحثين في استكشاف هذه الرؤية وتعميمها لتشمل أبعادا أخرى ولتشمل أيضا نظريات كروموديناميكية أخرى، مما يضيف أدلة بارزة على صحتها، ومع ذلك لم تتم البرهنة الصارمة على أي مثال لكون الرياضيات اللازمة في منتهى التعقيد.



فهم الثقوب السوداء(*)



لقد حيرت الفكرة التي جاء بها <S. هوكنگ> الفيزيائيين. وتنص هذه الفكرة على أن للثقوب السوداء درجة حرارة وأنها تصدر إشعاعا أيضا، ذلك أن درجة الحرارة عبارة عن خاصية لمجموعة من الجسيمات، ولكن ما هي المجموعة التي تكوّن الثقوب السوداء؟ تقدم النظرية الهولوگرافية إجابة لهذا اللغز ببيان أن الثقب الأسود يكافئ تجمعا من الجسيمات المتفاعلة فيما بينها على السطح الحدي للزمكان.

وحتى نحصل على فضاء زمكاني بحجم الكون المرئي فإن على النظرية أن تتضمن 10^{60} لون.

وينتج أيضا (من النظرية) أن أحد أنواع الگليونات يسلك في الزمكان الرباعي الأبعاد كما لو كان **گرافيتونا (جذبونًا)** graviton، وهو الجسيم الكمومي للثقالة. ففي هذا الوصف تكون الثقالة في الفضاء الرباعي الأبعاد ظاهرة منبثقة عن تفاعل الجسيمات في عالم ثلاثي الأبعاد يخلو من الثقالة. إن وجود الگرافيتونات في النظرية لا ينبغي أن يثير الدهشة ـ حيث أدرك الفيزيائيون منذ

المعادلات الدقيقة لنظرية الأوتار، التي تم ابتكارها في أواخر ستينات القرن الماضي بهدف وصف تفاعلات **القوة النووية الشديدة** strong interactions، مع أنه تم الاستغناء عنها (لهذا الغرض) عند دخول **الكروموديناميكا** chromodynamics هذا الميدان. إن المطابقة بين النظرية الوترية والكروموديناميكا تبين أن هذه الجهود المبكرة لم تكن خاطئة وإنما يعبر كل من الوصفين عن وجه مختلف من العملة ذاتها.

يؤدي تغيير نظرية الكروموديناميكا على الحدود، وذلك بتغيير الكيفية التي

ألغاز الثقوب السوداء(**)

كيف سيسهم الوصف الهولوگرافي للثقالة في تفسير اعتبارات تتعلق بالثقوب السوداء؟ من المتوقع للثقوب السوداء أن تُصدر **إشعاع هوكنگ** Hawking radiation، المسمى كذلك نسبة إلى مكتشفه <S. هوكنگ> [من جامعة كمبردج]. وينبعث هذا الإشعاع من الثقب الأسود عند درجة حرارة معينة. وهناك نظرية تدعى الميكانيك الإحصائي تفسر درجة الحرارة بدلالة المكونات المجهرية لجميع النظم الفيزيائية المعتادة. وهذه

(*) Understanding Black Holes
(**) Mysteries of Black Holes

النظرية تفسر درجة حرارة زجاجة من الماء، كما تفسر درجة حرارة الشمس. وماذا بشأن درجة حرارة الثقب الأسود؟ حتى نتمكن من فهم ذلك ينبغي أن نعرف ماهية مكونات الثقب الأسود المجهرية وكيفية سلوك هذه المكونات. وحدها، النظرية الكمومية للثقالة تستطيع فعل ذلك.

لقد أفرزت بعض اعتبارات ترموديناميك الثقوب السوداء شكوكا حول أيّ إمكانية ينبغي أن تكون للكواركات والگليونات التي تتفاعل مع بعضها بشدة عند درجات الحرارة المرتفعة لزوجة قليلة جدا.

ومن الممكن التحقق من هذا التنبؤ للنظرية من مصادم الأيونات الثقيلة النسبوية في مختبر بروكهافين الوطني، الذي تتم فيه مصادمة نوى الذهب بعضها ببعض عند الطاقات العالية. وقد بينت النتائج الأولية لهذه التجارب أن التصادم يولد مائعا ذا لزوجة قليلة جدا. ومع أن «صن» وزملاءه قاموا بدراسة صورة مبسطة للكروموديناميكا، فالذي يبدو أنهم انتهوا إلى خاصية موجودة في العالم الواقعي. فهل يعني ذلك أن مصادم الأيونات الثقيلة النسبية يولد ثقوبا سوداء خماسية الأبعاد؟ في الواقع، من المبكر الإجابة عن هذا السؤال، سواء كانت الإجابة تجريبية أو نظرية. (وحتى لو كان الأمر كذلك، فلا يوجد ما نخشاه من هذه الثقوب السوداء الصغيرة ـ لكونها تتبخر تقريبا فور توليدها، ولكونها أيضا توجد في فضاء خماسي الأبعاد وليس في فضائنا ذي الأبعاد الأربعة.)

ومع ذلك تبقى هناك أسئلة عديدة بخصوص النظريات الهولوگرافية بحاجة إلى إجابات عنها. وعلى وجه الخصوص، هل هناك أي شيء شبيه يحدث في كون شبيه بكوننا، كالذي يحدث في فضاء ضديد دوستر؟ هناك اعتبار جوهري في فضاء ضديد دوستر، وهو أن له حدودا يكون فيها الزمن معرَّفا بشكل جيِّد، وهذه الحدود وُجدت وستستمر إلى الأبد. أما في كون يتمدد، مثل كوننا، ابتدأ وجوده من الانفجار الأعظم فليس له مثل هذه الحدود ذات السلوك الجيِّد. وبالنتيجة فليس واضحا كيف يمكن تعريف نظرية هولوغرافية لكوننا؛ إذ لا يوجد مكان ملائم لوضع الهولوگرام.

حتى الآن لم يُبرهن على أي مثال للمطابقة الهولوگرافية وذلك للصعوبة الفائقة للرياضيات المتعلقة بذلك.

لتطوير نظرية كمومية للثقالة. فقد بدا كما لو أن الميكانيك الكمومي ذاته تتوقّف صلاحيته عند دراسة التأثيرات التي تحدث في الثقوب السوداء. ولكننا بفضل النظرية الحدية، نعلم حاليا أن الميكانيك الكمومي يبقى صحيحا عند دراسة ثقب أسود في فضاء ضديد دوستر. فمثل هذا الثقب الأسود يقابل تموضعا لجسيماتٍ على حدود هذا الفضاء. وعدد هذه الجسيمات كبير جدا، وهي تتحرك باستمرار، الأمر الذي يمكّن النظريين من تطبيق القواعد المعتادة في الميكانيك الإحصائي لحساب درجة الحرارة. وقد تبين أن النتيجة التي نصل إليها بهذا الأسلوب تتطابق مع تلك التي وصل إليها «هوكنك» باتباع أسلوب آخر، مما يعزز ثقتنا بنتائجنا هذه. والأمر الأهم هو أن النظرية الحدية تنسجم مع الميكانيك الكمومي من دون أن تبرز أية تناقضات.

وقد استخدم الفيزيائيون المقابلة الهولوگرافية أيضا باتجاه معاكس ـ حيث استثمروا معرفتهم ببعض الخصائص المعروفة للثقوب السوداء داخل الزمكان لاستنتاج سلوك الكواركات والگليونات عند درجات حرارة عالية جدا عند الحدود. فمثلا قام <D. صن> [من جامعة واشنطن] وزملاؤه بدراسة كمية تدعى **لزوجة القص** shear viscosity، وهي صغيرة لمائع يسري بسهولة ولكنها كبيرة لمادة لزجة مثل الدبس. وقد وجد هؤلاء أن لزوجة القص هذه للثقوب السوداء صغيرة جدا وأنها أقل من مثيلتها لأي مائع معروف. ونتيجة للتكافؤ الهولوگرافي فإنه

ومع ذلك فالدرس المهم الذي نتعلمه من التخمين والرؤية الهولوگرافية هو أنه من الممكن للثقالة الكمومية، التي حيَّرت بعض أفضل العقول على سطح الكوكب لعقودٍ عدة، أن تكون سهلة جدا عند معالجتها بدلالة المتغيرات المناسبة. دعونا نأمل في أن نجد وصفا سهلا للانفجار الأعظم في القريب العاجل! ■

المؤلف

Juan Maldacena

أستاذ في مدرسة العلوم الطبيعية التابعة لمعهد الدراسات المتقدّمة في برنستون بولاية نيوجيرسي. وقبل ذلك كان يعمل في قسم الفيزياء بجامعة هارفرد وذلك بين عامي 1997 و 2001. وهو يقوم حاليا بدراسة ظواهر عدّة متعلّقة بفكرة الثنوية duality، التي خمّنها أولا، والموصوفة في هذه المقالة. وقد أعجب فيزيائيو الأوتار بهذه الفكرة في مؤتمرهم عام 1998، حيث إنهم احتفوا به بأغنية تحمل اسمه (مالداسينا) أدّوها على إيقاع الأغنية المشهورة ماكارينا.

مراجع للاستزادة

Anti-de Sitter Space and Holography. Edward Witten in *Advances in Theoretical and Mathematical Physics*, Vol. 2, pages 253–291; 1998. Available online at http://arxiv.org/abs/hep-th/9802150

Gauge Theory Correlators from Non-Critical String Theory. S. Gubser, I. R. Klebanov and A. M. Polyakov in *Applied Physics Letters B*, Vol. 428, pages 105–114; 1998. http://arxiv.org/abs/hep-th/9802109

The Theory Formerly Known as Strings. Michael J. Duff in *Scientific American*, Vol. 278, No. 2, pages 54–59; February 1998.

The Elegant Universe. Brian Greene. Reissue edition. W. W. Norton and Company, 2003.

A string theory Web site is at **superstringtheory.com**

Scientific American, November 2005

الاختبار الأقصى للدم(*)

طريقة مكلفة لتحديد احتمالات المخاطر الصحية: تحليل 250 اختبارا دفعة واحدة.

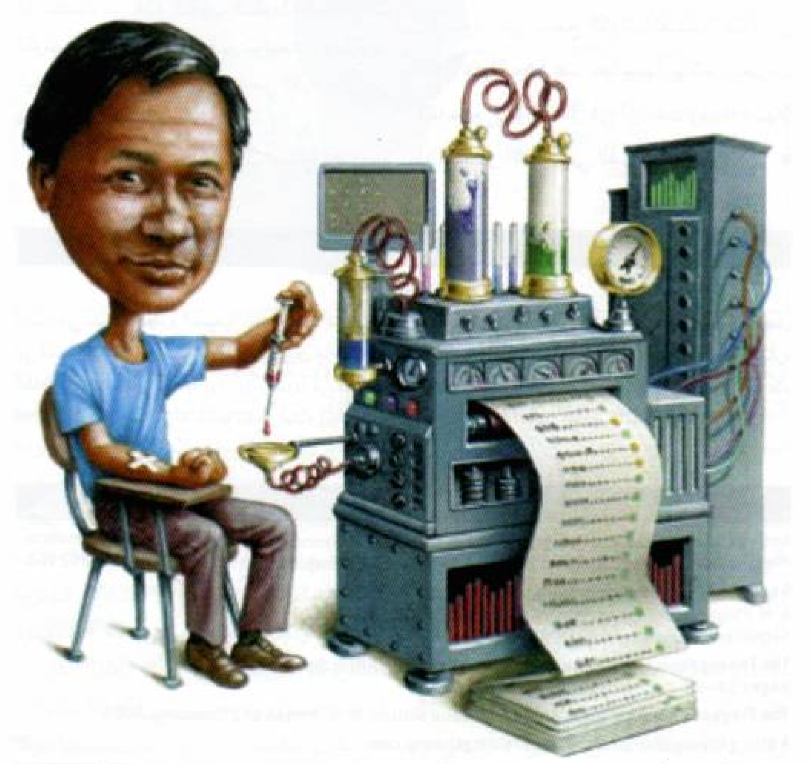
عندما بدأت الدوخة بالتلاشي والغثيان بالزوال تابعت التفكير في مسألة كيف أن مقدار ملعقتي طعام من الدم لا يمكنه أن يُماثل بأية حال حجما عظيما منه. فأثناء الفحص الدوري المنتظم يأخذ طبيبي من دمي عينة ذات حجم يعادل نصف تلك الكمية فقط. وافترضت أنه عليّ أن أعرف، وبخاصة بعد مرور 12 ساعة من الصيام، أنني قد أصبح عليلا إذا ما انخفض مستوى الگلوكوز في دمي، وأنني سأعتبر نفسي عندئذ متبرعا للدم بشكل مروع وفق ذلك المعيار.

تفرّست الممرضة التي أخذت عينة من دمي في أرجاء مكتبي باحثة عن شراب حلو، ثم سألتني: «هل لديك أي من الصودا أو العصير؟» ولكن لم يكن لدي إلا علبة صغيرة من الشراب الغازي الخالي من السكر. لقد كان الأمر مثيرا للسخرية حقا؛ فقد اعتدت تناول الشراب الغازي النظامي (المُحلى)، ثم تحولت إلى تناول الشراب الخالي من السكر بعد أن أظهرت اختبارات الدم أن مستوى عيار **الكليسيريدات الثلاثية** triglycerides مرتفع جدا عندي.

ولذلك كان الشعور المضطرب آنيا يتعلق بالثمن المادي المقبول لإجراء 250 اختبارا دفعة واحدة، وكنت قد أُخبرت أن إجراء مثل هذه الاختبارات مفردةً، كل اختبار وحده، باستخدام الطرق التقليدية يتطلب لترا كاملا من الدم، فتخيّل ما سيحل بي من شعور بالدوار والاعتلال والغثيان فيما لو تم ذلك. وكم مرة يجب عليّ فك كم قميصي لأخذ هذه العينات إلى شركة بيوفزيكال Biophysical؟ لقد وعدتْ الشركة [ومقرها في أوستن، عاصمة ولاية تكساس] باستخدام الدم للتحري عن **السرطانات قبل ظهور أعراضها** presymtomatic cancers **والاضطرابات المناعية المحتملة** potential immune disorders والعدوى الكامنة **واضطرابات التوازن الهرموني غير المكتشفة** undetected hormonal imbalances **وحالات العوز الغذائي غير المميَّزة** unrecognized nutritionl deficiencies.

ويبدو أن المراد من ذلك وسم وترسيخ خطوة متقدمة نحو رحلة **النجوم الخيالية** Star Trek التي بدأ الدكتور ‹ماكوي› يلمح إليها حول أداة **تشبه المَمْلَحة** saltshaker device يمكنها تحديد الأسرار الطبية للشخص المفحوص. («ضربات القلب جميعها مضطربة، قياس حرارة الجسم هي كذا... يا ‹جيم›، إن هذا الرجل لديه كذا وكذا بلغة الكلنگون Klingon!»).

إن تقييم نتائج اختبار **البيوفزيكال Biophysical250** حسب ما تسميه الشركة، يتطلب أكثر من مجرد هذه المجموعة من الاختبارات؛ فهو يحتاج إلى مقابلة المريض لتحري تاريخه الطبي، مع زيارة خاصة إلى منزله أو مكتبه لأخذ عينة من دمه (كان علي أن أبقى أو أصل إلى بيتي، حيث أحتفظ فعليا بالسكر)، ومتابعة المشاورة الطبية. وإن جميع هذه المتطلبات من الرعاية لن تكون رخيصة، فهي تكلف ثلاثة آلاف وأربعمئة دولار أمريكي، وهي ليست مشمولة بالضمان الصحي. لقد بينت الشركة أن إجراء كل فحص بمفرده سيكلف المراجع أكثر من تكلفته الحالية بعشرة أضعاف، وهكذا فإن اختبار البيوفزيكال 250 يصبح رخيصا جدا مقارنة بالتحاليل التقليدية؛ ومع ذلك فستبقى بحاجة إلى دخل متاح لتدفع تكلفتها، أو الالتجاء إلى رب (أو أرباب) عملك ليدفع عنك تكاليف هذه الاختبارات. وبالنسبة إلي فإنني لم أقع في أي من هاتين الفئتين؛ لأنني كنت



خمس قنّينات (حُبابات)، تعادل ملعقتي طعام، هي كل ما يلزم للحصول على نتائج اختبار البيوفزيكال 250.

(*) THE ULTIMATE BLOOD TEST

من الذين يقومون بتقويم منتجات شركة بيوفزيكال، وقد وافقت هذه الشركة على إجراء الفحص لي مجانا.

يركز التحليل على الواسمات البيولوجية للدم، وهي مواد كيميائية قد يدل وجودها أو مقدارها على حدوث سيرورات أو تفاعلات شاذة في الجسم. ومن أكثرها شهرة تلك **المتعلقة بالأوعية القلبية** وهي: البروتين الشحمي المرتفع الكثافة (HDL) والبروتين الشحمي المنخفض الكثافة (LDL) (ويمثلان الكولسترول الجيد والكولسترول السيئ) والگليسيريدات الثلاثية.

وقد يبدو تحري مئتين وخمسين **واسما بيولوجيا** biomarkers دفعة واحدة ضربا من الإسراف وأكثر من اللازم؛ إذ يتم الفحص الروتيني بتحري نحو **دزينتين** dozens أو ثلاث من هذه الواسمات. وعلى أية حال فإن النظر في تحليل واسم بيولوجي واحد بشكل منفصل لا يعطي في العادة معلومات غنية ذات دلالة خاصة، فمثلا: إن نسبة البروتين الشحمي LDL إلى البروتين الشحمي HDL أكثر أهمية من قيمة كل منهما وحده. وإن اختبار البيوفزيكال 250 يذهب أبعد من ذلك: فلتقييم احتمال خطورة الإصابة بمرض القلب والحادث الوعائي الدماغي (**السكتة** stroke)، تحلل الشركة ثلاثة وثلاثين واسما بيولوجيا. وإن تحري وفحص واسمات بيولوجية متعددة سوية يُحسِّن من احتمال كشف المشكلات مبكرا، وبخاصة **الأمراض الخبيثة** malignancies.

ولاتزال الاختبارات الدموية الخاصة بكشف السرطانات تمثل مسألة إشكالية، لأن أشخاصا أصحاء قد يُنتجون أنماطا ومقادير من الواسمات البيولوجية كالتي ينتجها المصابون بالسرطانات. والأكثر من ذلك أن هذه المواد الكيميائية قد لا تظهر دائما في تحاليل مرضى السرطان، كما أنها قد تظهر في حالات ليس لها علاقة بالسرطان. ويتحرى اختبار البيوفزيكال 250 قرابة أربع دزينات من المواد الكيميائية في الدم المرتبط وجودها بالنشاط السرطاني عموما، وذلك بغية زيادة احتمال كشف المرض في مرحلة كمونه وقبل ظهور أعراضه.

وكمثال، في **سرطان المبيض** ovarian cancer الذي يُشخص متأخرا جدا في العادة، تشير شركة بيوفزيكال إلى أن **المستضد السرطاني 125** cancer antigen 125 وهو الواسم الأكثر شيوعا في المعايرة لكشف هذا السرطان، يظهر لدى نصف عدد المصابين به في المرحلة الأولى فقط، عندما يكون نجاح المعالجة أكثر احتمالا. ولذلك يحاول اختبار البيوفزيكال 250 تعزيز فرصة الكشف المبكر من خلال معايرة مركبات بيولوجية مستقلة أخرى، مثل **عامل النمو البطاني الوعائي** vascular endothelial growth factor **والإنترلوكين 6** interleukin 6 **والبروتين الجاذب الكيميائي للخلية الوحيدة** monocyte chemoattractant protein. «إن مجرد قيامنا بتكديس العديد من الواسمات البيولوجية يعني فعلا أننا نقلل من حدوث نتائج إيجابية موهمة (زائفة)»، هكذا قال ‹M. شاندلر›، المدير التنفيذي ومؤسس شركة بيوفزيكال.

لقد صممت الشركة بشكل أساسي اختبارات الدم المعيارية بحيث تكون ذات حجم صغير، فاستغنوا عن الآبار الميكروية الحجم (وتقاس **بالميكرولتر** microliter) واستبدلوا بها خرزات من مادة **البوليستيرين** polystyrene beads الأصغر حجما منها، إذ يبلغ حجم كل خرزة ما يعادل نصف حجم الكرية الحمراء. ويغلف سطح كل كرة خرزية بأحد الأضداد النوعية الخاصة. ويمزج مصل العينة الدموية مع الخرزات ما بين 15 و 30 دقيقة، بحيث يسمح **للأضداد** antibodies بأن تتثبت على البروتينات التي تتعرَّفها وتميزها. وبعد أن يشطف المصل بالغَسْل، يتم إدخال أضداد أخرى من طاقم المجموعة ذاتها في التحليل. ومع ذلك وفي أثناء هذا الوقت يكون لكل ضد **قائف (عُلاَّم) متالق** fluorescent tag يكشفه. وتقوم الأضداد ذات القائف بالتثبت على بروتينات الدم المثبتة سابقا بالمجموعة الأولى من الأضداد كالشطيرة. وهكذا يقدم فحص القوائف المتالقة «فكرة عن كمية المادة الكيميائية التي تم سحبها من المصل،» هكذا يشرح ‹شاندلر› الذي بدأ بتسويق اختبار البيوفزيكال 250 منذ السنة الماضية (2005)، ما يحدث في عمليات الكشف.

لقد وصل تقريري بعد أسبوعين بطريق البريد السريع. وقد تضمَّن ملخصا مكتوبا بدقة عالية، إضافة إلى تقرير مختبري كمي، مع كتيِّب ثان يحدد جميع الواسمات البيولوجية والعلل المتعلقة بها. وبلغة الصحة فإن القسم الأكثر فائدة هو الملخص المتعلق بالواسمات البيولوجية المنظمة بحسب نمطها: المناعي الذاتي، السرطاني، القلبي الوعائي، **توسيم الخلية** cell signaling، السكري، **الصماوي** endocrine، الدمويّات، المناعة/الالتهاب، الأمراض العدوانية، التغذوية، أجهزة الأعضاء، **والمَفصال العظمي** osteoarthritic. ويوجد بجانب كل واسم بيولوجي كود لوني يعتمد على ما إذا كان المقدار المُكتشف خارج المجال الطبيعي: فيدل اللون الأخضر على أن «**احتمال الخطر منخفض**» low risk، ويدل اللون الأصفر على وجود «**محذور**» caution ويدل اللون الأحمر على وجود «**إنذار بالخطر**» alert. ولقد وصل التقرير مع نسخة منه لإعطائها إلى طبيبي الشخصي، وتقوم شركة بيوفزيكال بمناقشة النتائج مع الطبيب المراجع. ومؤخرا وردتني أيضا مكالمة هاتفية استشارية من رئيس الشركة ‹G. روجرز› وطبيب الشركة المختص بالقلب والأوعية حول نتائج اختبارات الدم الخاصة بي.

لقد كانت نتائج اختباراتي الدموية طبيعية غير مقلقة، إذ جاء معظم هذه الاختبارات باللون الأخضر. وقد كانت المفاجأة الوحيدة هي الزيادة الطفيفة في المجال الطبيعي لمقدار **الفِرِّتين** ferritin، وهو البروتين الذي يختزن الحديد. وقد حذرني التقرير بأن فرط حمل الحديد هذا يمكن أن يكون دلالة على وجود حالة وراثية تدعى **داء ترسب الأصبغة الدموية** hemochromatosis، ويتطور هذا المرض بصمت ويمكن أن يسبب مستويات سمِّية من الحديد، بحيث يترسب في الأعضاء؛ أما المعالجة فهي بسيطة وتكون بالتبرع بالدم على نحو منتظم للتخلص من فائض الحديد. ومن جهة أخرى، يمكن أن يعكس مستوى الفرتين عندي حقيقة أنني كنت فيما مضى أتناول دواء **متعدد الفيتامينات** multivitamin مع الحديد، واكتشفت لاحقا أن ذلك ليس صحيا بتاتا بالنسبة إلى الأشخاص الأصحاء، وهذا مما سأبحثه مع طبيبي.

وفي هذا الموضع لا بد من الإشارة إلى أكذوبة بأن هناك قوة عظيمة لاختبار البيوفزيكال 250 من حيث أنه يستطيع الكشف عن الأمراض المميتة قبل أن تظهر أعراضها، وعادة لا يطلب الأطباء إجراء فحص لها. لقد أبلغت الشركة في إحدى الدراسات غير المنشورة التي أجريت على 120 مراجعا، وجود **اختطارات صحية** health risks رئيسية لدى 15 منهم، ووجود اختطارات معتدلة لدى 27 آخرين منهم، ولم

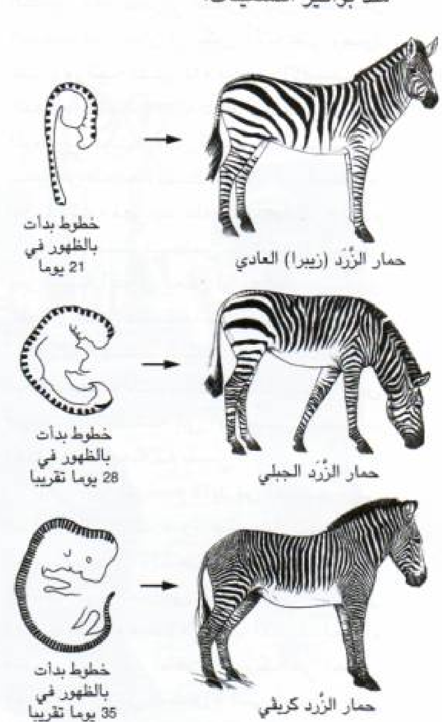
التتمة في الصفحة 79 (العمود 3)

عروض ومراجعات كتب

إيڤوديڤو (علم الأجنة التطوري) هو المصطلح الحديث المعبِّر عن...[*]

... أبحاث عمرها مئتا عام للربط بين الأجنة والتطور

سوف يكون من الصعب تخيل مقياسي زمن إضافيين مختلفين في حياة الكائنات الحية غير **التنامي** development ـ أي تحول جنين إلى فرد يافع في جيل واحد، والتطور ـ أي تحور الكائنات وتغيرها بين الأجيال التي تعود إلى 600 مليون عام مضت؛ ومع ذلك تساءل فلاسفة الطبيعة وعلماء الشكل الظاهري والبيولوجيون، خلال القرنين الماضيين: هل هناك علاقة جوهرية بين التنامي (**تاريخ حياة الكائن الفرد** ontogeny) والتطور (**تاريخ تطور النوع** phylogeny). نعم توجد علاقة، وقد وجدت التعبير عنها في هذا الفرع المزدهر من المعرفة: بيولوجيا التنامي التطورية «إيڤو ديڤو»، كما أطلق عليه منذ بواكير التسعينات.



قد تنتج الأعداد المختلفة للخطوط في ثلاثة أنواع من حمار الزَّرد zebra من الاختلافات في الوقت الذي يبدأ فيه تكوين الخطوط في الجنين.



THE NEW SCIENCE OF EVO DEVO

ENDLESS FORMS MOST BEAUTIFUL

SEAN B. CARROLL

Endless Forms Most Beautiful: the New Science of Evo Devo And The Making of The Animal Kingdom
by Sean B. Carroll
W. W. Norton, 2005

عدد لانهائي من أشكال بالغة الجمال: العلم الجديد إيڤوديڤو وبناء عالم الحيوان.

ويبحث كتاب «*عدد لانهائي من الأشكال البالغة الجمال*»، واحدا من أكثر الأوجه إثارة في علم الأجنة التطوري (إيڤو ديڤو)، وهو دمج البيولوجيا الجزيئية التي أدت إلى اكتشاف طوائف من **الجينات المنظِّمة** regulatory (نمائية أو **محوِّلة** switching) المحفوظة: جينات هوميوبوكس homeobox أو هوكس Hox. ولقد صاغ ‹كارول› [أستاذ الوراثة في جامعة وسكنسون ـ ماديسون] الكتاب بأسلوب مفعم بالحيوية، متبِّلا إياه بأمثلة غاية في السحر وموضحة توضيحا جميلا برسوم وصور فوتوغرافية عادية وملونة. ولكي ندرك المكان الذي يحتله هذا الكتاب الحديث للإيڤوديڤو على التاريخ الطويل لهذا الفرع من المعرفة، نحتاج إلى العودة إلى الوراء مئتي عام تقريبا.

ولقد ازدهرت دراسة المراحل الجنينية عبر عالم الحيوان ـ أي علم الأجنة المقارن ـ منذ عام 1830. ومن ثم، عندما ظهر كتاب «*أصل الأنواع*» عام 1859، كان ‹تشارلز داروين› يعرف أن أجنة جميع اللافقاريات (الديدان وقنافذ البحر وجراد البحر) والفقاريات (الأسماك والثعابين والطيور والثدييات) تتشارك في مراحل جنينية شديدة التشابه بما يعني أنها حُفظت على هذه الصورة خلال التطور، حتى إنه يمكن إطلاق الأسماء نفسها على مراحل متكافئة في كائنات مختلفة. ولقد عرف ‹داروين› أيضا أن التكوين الجنيني الباكر يُبنى على أساس طبقات متماثلة من الخلايا وأنماط متشابهة من تحرُّك الخلايا تُنتِج أشكال الأجنة وأجهزتها العضوية. لقد أحاط بهذه الوحدة من التنامي الجنيني. وفي الواقع، يمكننا أن نقول إن إيڤوديڤو (الذي كان يعرف حينذاك باسم: علم الأجنة التطوري) قد بزغ عندما استنتج ‹داروين› أن دراسة الأجنة ستزودنا بأفضل دليل للتطور.

وقد أعطيت بصيرة ‹داروين› أساسا نظريا، واكتسب إيڤوديڤو أولى نظرياته، عندما اقترح ‹إرنست هيگل› أنه مادام الفرد يستعيد خلال **تاريخ حياته** ontogeny (**التنامي** development) **تاريخه التطوري** phylogeny، إذًا يمكن دراسة التطور في الأجنة. وهذه التقدمات التقانية في عمل القطاعات النسيجية وصبغها التي تزامنت في ستينيات وسبعينيات القرن التاسع عشر، مكَّنت البيولوجيين من مقارنة أجنة الكائنات المختلفة. وعلى الرغم من أن نظرية ‹هيگل› غير صحيحة في شكلها الصارم، فقد أغرت معظم علماء الشكل الظاهري على ترك دراسة الكائنات اليافعة إلى دراسة الأجنة ـ وحرفيا: البحث عن التطور في الأجنة. حقا إن التاريخ يعيد نفسه؛ فبعد مئة عام تأسست نظرية عن كيفية تصميم جسم ذبابة الفاكهة واقترنت بتقدمات تقانية أدت إلى الجانب الجزيئي لعلم الأجنة التطوري إيڤوديڤو الذي قام بتقييمه ‹كارول› مؤلف الكتاب.

وكما ذكر ‹كارول› في كتابه (الذي

(*) EVO DEVO IS THE NEW BUZZWORD...

اقتُبس عنوانه من السطور الأخيرة من كتاب *أصل الأنواع*)، فإن اكتشاف الوراثة المندلية في عام 1900 الذي تلاه سريعا اكتشاف الجينة باعتبارها وحدة الوراثة، قد دق إسفينًا بين التنامي والتطور؛ إذ أصبحت الجينات من جيل إلى جيل. وهكذا تم فصل علم الأجنة عن التطور، أي **ديڤو** devo عن **إيڤو** evo. فحتى اكتشاف طبيعة الدنا ودوره في الخمسينات لم يردهما إلى الاجتماع معا. ومع ذلك بدأ كل هذا بالتغير في أواخر السبعينات حين تسببت ثورات عديدة في الجانبين النظري والتقاني في نقلة فكرية مفاجئة ومثيرة، مثل تلك التي تلت «*أصل الأنواع*» لـ<دارون>.

فقد أعادت طرق جديدة لتوليد علاقات الأنساب **الفيلوجينية** phylogenetic علم الأجنة المقارن إلى الصدارة، ونحن نستطيع حاليا تقييم اتجاه التغيرات التطورية في التنامي. فعندما نجد نوعا من الضفادع قد فقد طور أبي ذنيبة من دورة حياته - وهو تغير تطوري في الشكل والوظيفة لافت للنظر - نستطيع أن نحدد هل هذا الفقد كان حدثا باكرا أو متأخرا في تطور الضفادع. وقد أشعل كتاب <J .S. گولد> ***تاريخ حياة الفرد وتاريخ تطور النوع*** Ontogeny and Phylogeny (1977) جذوة الاهتمام من جديد في علم الأجنة التطوري في القرن التاسع عشر، وبعث فكرة قديمة - ***التغاير الزمني*** heterochrony، تغير في توقيت التنامي في نسل ذي صلة بسلف له - في شكل يمكن اختباره. ولما بلغته هذه الأوجه من التقدم من الأهمية، رُفع لواؤها ضد الحكمة السائدة عندئذ بأن الكائنات تختلف لأنها تمتلك جينات متفردة لا توجد في كائنات أخرى - جينات جراد البحر لجراد البحر وجينات الإنسان للإنسان، وهكذا.

ولقد حوّل اكتشاف جينات هوميوبوكس هذه المقاربة رأسا على عقب وباطنا لظهر. إن تصميم الجسم في حيوانات جراد البحر والبشر، والذباب والأسماك، والبرنقيلات والفئران، يبدأ باستخدام عائلات الجينات نفسها والتي حفظت عبر عالَم الحيوان. ويحتوي النصف الأول من الكتاب على توابع هذا الاكتشاف، الذي يصف فيه <كارول> جينات هوميوبوكس على أنها المحوِّلات التي تحوي المعلومات الأساسية المطلوبة لتكوين عين ذبابة أو يد إنسان.

ويستكشف النصف الآخر من الكتاب ما يطلق عليه <كارول> «صُنع تنوع الحيوان،» بدءا من حياة الحيوان كما مُثِّلت في الأحافير (المستحاثات) الشهيرة بحق، التي وجدت في **طَفْلَة برجس** Bargess Shale بكولومبيا البريطانية، والتي يصل عمرها إلى 500 مليون سنة. وقد عُني <كارول> بتلاعب التطور بالمحوِّلات الوراثية وإنتاج الأنماط في الطبيعة - بقع على أجنحة الفراشة وخطوط على حمار الزَّرَد المخطط[1]. ولقد أعطى المؤلف اهتماما أقل بشلالات الجينات وشبكاتها التي تسمح لجينات تأشير متشابهة بأن تنشئ مثلا جناح طائر أو ذراع إنسان. وكذلك كان اهتمامه قليلا بالخلايا والعمليات الخلوية التي تكوِّن الأشكال اللانهائية.

ومن ثم، فإن تعبيرات مثل «في الواقع إن تشريح أجساد الحيوانات مكود ومشيد.. بوساطة كوكبات من المحوِّلات منتشرة وموزعة في الجينوم كله،» يمكن أن تؤخذ لتعني أن الجينات المحوِّلة تحوي جميع المعلومات المطلوبة لتوليد شكل ما. ولو أن هذا كان صحيحا لما كانت هناك حاجة إلى الايڤوديڤو، بل الواقع إنه لم يكن هناك تنام على الإطلاق؛ إذ يجب أن يكون الأمر كله جينوإيڤو. لكن، كما يوضح <كارول>، يحدث تطور الشكل خلال تغيرات في التنامي، ولهذا بالضبط كان لعلم إيڤوديڤو وضعه المحوري في فهم كيف تتكون الحيوانات وكيف تتطور. ■

(1) zebra

المؤلف

Brian K. Hall

هو أستاذ كرسي <G .S. كامبل> للبيولوجيا، وأستاذ جامعي باحث في جامعة دالهاوزي بهاليفاكس. وهو مؤلف كتاب «بيولوجيا التنامي التطورية» Evolutionary Developmental Biology *و«العظام والغضاريف: البيولوجيا التكوينية والتطورية للجهاز الهيكلي»* Bones and Cartilage: Developmental and Evolutionary Skeletal Biology *من بين كتب أخرى، ومحرر مشارك لـ<B. هالجريمسون> لكتاب «التغاير: مفهوم أساسي في البيولوجيا»* Variation: A Central Concept in Biology *(تحت الطبع).*

تتمة الصفحة 77 (تقنيات)

تظهر لدى أي منهم أية علامة أو عرض يدل على وجود أي حالة مرضية. وتتضمن هذه الحالات المرضية التهاب المفاصل الروماتويدي و**تصلب الجلد** scleroderma و**قصور الغدة الدرقية** hypothyroidism.

وتتحرى الشركة فقط عن العلل القابلة للمعالجة، في حين تتجنب تلك التي تعد قاتلة بالتأكيد. وهكذا حتى الآن، فإن **حالات التنكس العصبي** neurodegenerative مثل **داء ألزهايمر** Alzheimer's disease، ستكون مستثناة. ولكن <شاندلر> يضيف بأنه يمكن للشركة أن تجري اختبارات لمثل هذه العلل «فيما لو كانت هناك طريقة تبطئ المرض أو تعيق ترقِّيه.»

كانت نتائج اختبار البيوفزيكال 250 الخاصة بي محدودة الفائدة، لأنها تعكس حالتي الصحية في 2006/1/10، الساعة 9:30 صباحا، أي عندما أُخذت عينة الدم مني. ولكن التغيرات البيوكيميائية مع مرور الزمن قد تظهر الكثير حول الحالة الصحية للشخص. ولكن بمقارنة التكلفة التي تعادل تكلفة شاشة تلفزيون من نوع البلازما المسطحة العملاقة، فإن اختبار البيوفزيكال 250 ليس ميسورا ماديا تماما حتى لو أجري مرة واحدة كل عامين. أفلا تستطيع الشركة استبعاد بعض الاختبارات؟ أعني هل أحتاج فعلا إلى إثبات أنني لست مصابا بطفيليات داء النوم الإفريقي، علما بأنني لم أزر إفريقيا إطلاقا؟ أو هل أحتاجُ كذكرٍ إلى معرفة أنه لا يوجد عندي حالة حَمْل (حَبَل)؟!

يقول <شاندلر> إن اقتلاع بعض الخرزات لن يكون **ذا مردود** cost-effective، مع أن وجود بعض الدزينات من الواسمات البيولوجية قد يكون كافيا لتحديد أكثر الأمراض شيوعا، ما يسمح بالحصول على التقييم بتكلفة أقل. إنه يرغب بالحصول على بيانات من 10 000 مراجع قبل تقليص عدد الواسمات البيولوجية. (إنه يتوقع قرابة 1500 زبون هذا العام). ولكن الشركة قد تتجه اتجاها آخر وتؤسس لاختبار البيوفزيكال 300، حيث ستكشف التحريات بوساطة هذا الاختبار عن واسمات بيولوجية أكثر. وبالتأكيد سأكون مشجعا لهذا الاختبار فيما لو هبطت تكلفته ومادام لا يحتاج إلى عينة دم حجمها أكثر من ملعقتي طعام. ■

<Ph. يام>

حوار الخلايا[*]

مستودعاتٌ نانوية على شيپة تنبئ الخلايا الجذعية بما يجب عليها فعله.

يمكن للخلايا الجذعية أن تتحول إلى أي نمط خلوي يأمرها الجسم به. ولكن ما يؤسف له أن العلماء لم يتقنوا بعد اللغة التي يستعملها الجسم في مخاطبته تلك الخلايا. ويأمل باحثون في جامعة ستانفورد أن يحلوا قريبا رموز تلك اللغة في «غرف ثرثرة»[1] بالغة الصغر خاصة بالخلايا الجذعية.

ففي وسطها الطبيعي، تكون الخلايا الجذعية محاطة بضروب من الجيران، تُنقل إليها رسائل كيميائية في نقاط محددة بدقة وفي لحظات خاصة جدا وبكميات محسوبة تماما، كي توجه تناميها لتتمايز إلى نمط خلوي بعينه. وفي المختبرات الحديثة، غالبا ما يغمر الباحثون الخلايا بالكيميائيات فتصبح كمن يَعُبّ من قربة دون حساب، مقارنة بحفل الكوكتيل المعقد والمقنن، الذي يقيمه الجسم في الحالة السوية لتوجيه تمايز الخلايا الجذعية.

فمن أجل تعرف المكان الملائم ـ المجهول غالبا ـ والتوقيت وهوية الأدوار، يقوم <A. N.> ميلوش> عالم المواد بستانفورد وزملاؤه بإعادة تكوين البيئة الملائمة التي تقيم فيها الخلايا الجذعية في الحالة السوية. فهؤلاء الباحثون يطورون مختبرا مجهريا على شيپة chip سيليكونية، تحيط بالخلية الجذعية وتحوي ما يقرب من 1000 فجوة (مستودع)، قطر كل منها 500 نانومتر. ويحوي كل مستودع نانوي 1 أتولتر attoliter (10^{-18} لتر) تقريبا من سائل مساو لحجم المفرزات الخلوية. وتكون المستودعات محكمة الإغلا (الختام) بالنمط نفسه من الليپيدات الثنائية الطبقة التي تتشكل منها الأغشية الخلوية. وتُفتح هذه المسام بوساطة أعشار الڤلط في هذه الطبقات. ويلاحظ <ميلوش>: «عندما يرغب الباحثون في إيصال مادة كيميائية نوعية إلى الخلية في مرحلة محددة من مراحل تناميها، فليس عليهم سوى الضغط على زر معين.» ويعمل الفريق حاليا على تنمية خلايا جذعية مشتقة من نسيج شحمي بالغ[2].

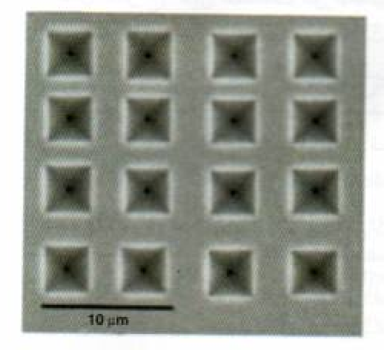
ويضيف <R. ولف> [مدير نقل التِّقانة في معهد كاليفورنيا للتقانة] إنه إلى جانب عوامل النمو، يمكن للعلماء أن يجربوا وسائل بديلة لتوجيه تمايز الخلايا الجذعية. وهو يشير بذلك إلى كظم التعبير الجيني بوساطة **تداخل رناوي**[3] RNA interference.

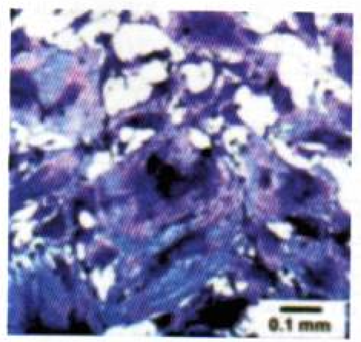
ويأمل <ميلوش> أيضا أن يُستعمل اختراعهم في إنماء نسج من الخلايا الجذعية: طبقة فطبقة. ويمكن لهذه المقدرة أن تسمح بإنماء نسج مركبة، مثلا عظم على أحد الوجهين وغضروف على الوجه الآخر. ويقرر <ميلوش>: «إذا ما انتُزع الغضروف الآن، عليك أن تلولبه في العظم لإعادته ثانية. ولا توجد حتى الآن أي وسيلة لتكوين السطح الفاصل (البيني) بين العظم والغضروف.» ويتمثل الأمل في بناء نسج مركبة، يقوم فيها الغضروف، الذي تم إنماؤه صنعيا، بالارتباط ارتباطا طبيعيا بالجسم.

ومما يقلق أن الكيميائيات في المستودعات النانوية قد تتفاعل مع الليپيدات. لذا، فإن الباحثين يأملون أن يستبدلوا بالختام الليپيدي[4] ختاما خاملا من الذهب، يمكن إذابته ـ عند الضرورة ـ بوساطة تيار كهربائي. كما أن الڤلطية المستعملة لفتح الختامات قد تؤثر سلبا في الخلايا الجذعية، بيد أن <ميلوش> يوضح بأنهم قد يجدون حلا لهذه المشكلة بجعل المسام غائرة[5] أكثر، بحيث يصبح الحقل الكهربائي أبعد من الخلايا.

ويتنبأ <ميلوش> أنه يمكن للصناعات الإلكترونية المعيارية أن تُنشئ الأداة، بحيث تصل السوق في غضون خمس إلى ثماني سنوات. ولكنه سيستعملها هو وزملاؤه في تجاربهم قبل ذلك بزمن طويل. ويضيف <ولف>: «يمكنني أن أرى إنتاجا في مستوى بحثي قيد الاستعمال في بداية عام 2006، إذا ما سارت الأمور على النحو المأمول.» ■

<C .Q. شواء>، مساهم دائم



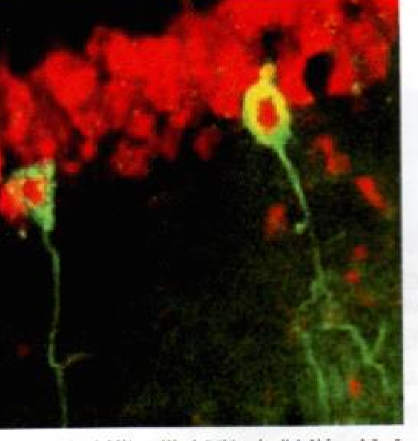


يمكن لصُفَيفات سيليكونية (*الصورة العليا*) أن تنكمش لتصبح نانوية الأبعاد، على أمل أن تنمو الخلايا الجذعية في التجاويف. ويبدو أن السيليكون لا يزعج الخلايا الجذعية، فتنتشر بسهولة تامة فوق تلك المادة (*الصورة السفلى*)، وقد لونت الخلايا باللون الأرجواني.

مشكلة الدفع والجذب[**]

يمكن لشيپة ستانفورد التي تخاطب الخلايا الجذعية كيميائيا أن تواجه مشكلة إذا ما عولت هذه الخلايا على مؤشرات أخرى لتناميها الصحيح، مثل فعلي الدفع والجذب الميكانيكيين، أو على پروتينات مثبتة على الأغشية المجاورة. ويقول <A. N.> ميلوش> [رئيس فريق الباحثين الذي يطور الشيپة] إن بإمكانه أن يحاكي بسهولة الپروتينات المرتبطة بالغشاء بوسم داخل الأداة بالمركبات الملائمة. ولكن الشيپة لا تولد حاليا بصورة جيدة المؤشرات الميكانيكية. ومع ذلك، فإنه ليس من الواضح حاجة جميع الخلايا الجذعية أو معظمها إلى هذه المؤشرات. ويقول <ميلوش> إن الأداة قد تساعد على الإجابة عن هذا السؤال.

(*) CHATTING UP CELLS
(**) Problem of Push and Pull
(1) chat rooms
(2) adult fat
(3) أو: رنا اعتراضي.
(4) lipid seal
(5) recessing



تستطيع خلايا الجنين المكتمل (*اللون الأخضر*) أن تشق طريقها إلى دماغ الأم. وتصطبغ النوى العصبونية في هذه الصورة *باللون الأحمر*.

من الجنين إلى دماغ أمه(*)

دالاّت علاجية من خلايا الجنين المكتمل تدخل دماغ الأم.

يرسخ الوِلْدان في عقول أمهاتهم على الدوام بكل معنى الكلمة. ففي الفئران عثر الباحثون على خلايا من الأجنة المكتملة تستطيع أن تهاجر إلى داخل دماغ الأم وتتطور فيه على ما يبدو إلى خلايا من الجهاز العصبي.

ويأتي هذا الاكتشاف من <G .S. داوي> [في جامعة سنغافورة الوطنية] و<Zh. شينگ كسياو> [من مستشفى سنغافورة العام] وزملاء لهما في الصين واليابان. فلقد كان هؤلاء الباحثون يسعون إلى تصميم علاجات للسكتة ولأمراض مثل داء ألزايمر، إذ عرف العلماء لسنوات عديدة أن خلايا الجنين المكتمل لدى البشر تستطيع الدخول إلى دم الأم، حيث تتمكن من البقاء ما لا يقل عن 27 سنة بعد الولادة. وعلى غرار الخلايا الجذعية، تستطيع خلايا الجنين المكتمل هذه أن تصبح أنواعا أخرى عديدة من الخلايا، ويمكن من الناحية النظرية أن تفيد في إصلاح الأعضاء المتضررة.

لقد ربّى بيولوجيو الأعصاب إناث فئران عادية مع فئران ذكور تم تحويرها **للتعبير** express بانتظام عن پروتين متألق أخضر اللون. فوجدوا خلايا جنين مكتمل خضراء في أدمغة الأمهات. ويقول <كسياو> في هذا الصدد: «هناك في بعض مناطق أدمغة الأمهات خلايا ذات منشأ جنيني مكتمل يراوح عددها ما بين خلية و 10 في كل 1000 خلية دماغية.»

لقد تحولت خلايا الجنين المكتمل هذه إلى ما يشبه العصبونات والخلايا النجمية الدبقية (التي تفيد في تغذية العصبونات) و**الخلايا الدبقية القليلة التغصنات** oligodendrocytes (التي تفيد في عزل العصبونات) و**البلاعم** macrophages (التي تفيد في هضم الميكروبات والخلايا التالفة). إضافة إلى ذلك، وجد العلماء بعد أن أحدثوا أذية كيميائية في أدمغة فأرية، زيادة في أعداد خلايا الجنين المكتمل التي تشق طريقها إلى المناطق المتضررة من الدماغ تعادل ستة أضعاف أعدادها في المناطق الأخرى، ما يوحي بأن هذه الخلايا قد شقت طريقها إلى هناك استجابة لإشارات **كرب** distress جزيئية أطلقها الدماغ.

ولكننا لا نعرف كيف تجتاز خلايا الجنين المكتمل جدران الشعريات الدموية التي تفصل الدماغ عن بقية جهاز الدم، علمًا بأن خلايا هذه الشعريات الوعائية ذات تراص كثيف يحول دون عبور معظم المركبات للحاجز الدماغي الدموي المحيط بالنسيج العصبي الدماغي. ويستشف الباحثون أن **الجزيئات الحيوية** biomolecules، مثل الپروتينات والسكريات التي تزين سطوح خلايا الجنين المكتمل تتفاعل مع ذلك الحاجز الدماغي الدموي، بحيث تسمح لهذه الخلايا بالتسلل عبره. ويشعر فريق الباحثين هذا بشكل واثق، بأن خلايا الجنين المكتمل تستطيع أيضا أن تمر إلى أدمغة الذكور والإناث غير الحوامل من دون وجود أدلة على فروق رئيسية بين الحاجز الدماغي الدموي لدى هؤلاء ولدى الإناث الحوامل، حسب قول <ديوي>. ويأمل العلماء أن يبينوا لاحقا أن خلايا الجنين المكتمل تصبح عصبونات وظيفية.

إن الاكتشاف الذي نشر في **أون لاين** online في الشهر 2005/8 بوساطة دورية ***الخلايا الجذعية*** *Stem Cells* يعطي أملا واعدا في معالجة الاضطرابات الدماغية. وبسبب الحاجز الدماغي الدموي، فإن **المعالجات الاغتراسية** transplant therapies فيما يخص الدماغ عادة ما تستحضر أفكار الحفر في الجمجمة. ولعل تحديد هوية الجزيئات الخاصة بخلايا الجنين المكتمل التي تدخل الدماغ لتغدو فيه خلايا عصبية جهازية قد يفيد في العثور على خلايا مشابهة من مصادر أخرى غير الأجنة المكتملة، مثل **دم الحبل السري** umbilical cord blood. ومثل هذا البحث قد يقودنا إلى طعوم (غرائس) خلوية غير عدوانية من أجل الدماغ لا تتطلب إلا حقنا في الوريد. وينبغي تحري توافق أية خلايا تستخدم في هذه المعالجات مع المريض قدر الإمكان تفاديا لاستثارة الجهاز المناعي لديه. هذا ويبقى من غير المؤكد ما إذا كانت الخلايا المحقونة لغرض الوصول إلى الدماغ قد ينتهي الأمر بها إلى الاغتراس في مكان آخر غير الدماغ. ويقول <ديوي> في هذا الصدد: «ولكننا لا نعرف حتى الآن ما إذا كان مثل هذا الحدث مشكلةً في حد ذاته.»

وكذلك ينظر الباحثون اليوم في أمر ما إذا كان مرور خلايا الجنين المكتمل إلى الدماغ يحدث في البشر بنفس سهولة حدوثه في الفئران. إنهم يخططون لدراسة ذلك في النسيج العصبي بعد الموت لدى أمهات للغلمان، حيث ستؤكد علامات الصبغي (Y) هذا التأثير في البشر. وحسبما يستدل <كسياو> سيثير ذلك أيضا قضية «ما إذا كان لهذا الإجراء أية مضاعفات سلوكية أو نفسانية.» ■

المؤلف

Charles Q. Choi

له إسهامات متعددة في مجلة ساينتفيك أمريكان.

أثمة حماية للحبلى (للحوامل)؟(**)

طبقا لإحدى النظريات العلمية، فإن خلايا الجنين قد تدور داخل جسم الأم لتحمي صحتها. وفي الحقيقة، ما يدعم هذه النظرية هو قدرة الخلايا الجنينية على الدخول إلى الدماغ استجابة لحدوث تلف فيه، وهي الظاهرة التي أوضحتها إخصائية الوراثة الطبية <D. W. بيانتشي> [من جامعة تفتس]، وهي أيضا أول من اكتشف أن الخلايا الجنينية تستطيع البقاء في الأمهات لعدة عقود. وتوضح <بيانتشي> ذلك قائلة: إن الرضّع ينتابهم قلق شديد إذا توفيت أمهاتهم، وهكذا يُظن أن هناك ميزة تطورية.»

بينما يعارض هذه النظرية إثبات آخر، فقد ربطت بعض الدراسات تطور المرض بالخلايا الجنينية التي غرزت نفسها فوق أنسجة الأم في حالات نادرة. لكن <بيانتشي> تشعر مع ذلك أن هذه الخلايا الجنينية المغروزة لا تسبب المرض ولكنها تستجيب له للمساعدة.

(*) العنوان الأصلي: BABY TO BRAIN

(**) Pregnant Protection?

اسألوا أهل الخبرة

كيف تقتل المضادات الحيوية الخلايا البكتيرية من دون أن تقتل الخلايا البشرية؟[*]

يُجيب عن هذا السؤال <H. مولبي> [الأستاذ في قسم الميكروبيولوجيا والمناعيات في كلية الطب ـ جامعة ميتشيكان]:

تستطيع المضادات الحيوية (الصادات) أن تستهدف البكتيرات انتقائيا لقتلها والتخلص منها تاركة الخلايا البشرية سالمة من دون أن تتدخل فيها، وذلك وفق طرائق متعددة.

تحتوي معظم جدر الخلايا البكتيرية على جزيء ضخم يدعى **الپپتيدوكليكان** peptidoglycan، الذي لا تصنعه الخلايا البشرية ولا تحتاج إليه. فالبنسلين مثلا يمنع خطوة الارتباط التصالبية النهائية أو **نقل الپپتيدات** transpeptidation، بين تجمّع الجزيئات الضخمة، ونتيجة لذلك يصبح جدار الخلية هشا فينفجر قاتلا البكتيرة.

تستهدف بعض الأدوية **السبل الاستقلابية (الأيضية) البكتيرية** bacterial metabolic pathways. وتشبه الأدوية **السلفوناميدية** sulfonamide بنيويا حمض البارا أمينو بنزويك، وهو الحمض الضروري لتركيب **حمض الفوليك** folic acid. وإن جميع الخلايا تتطلب حمض الفوليك. وفيما يدخل هذا الڤيتامين بسهولة في الخلايا البشرية، فإنه لا يستطيع أن يدخل في الخلايا البكتيرية، وهكذا تضطر البكتيرات أن تركّب ما تحتاج إليه منه بنفسها. وإن أدوية السلفا تثبط الإنزيم الأساسي في هذه العملية، ومن ثم لن تتمكن البكتيرات من النمو.

وهناك مضاد حيوي آخر يدعى التتراسكلين، الذي يتدخل في النمو البكتيري بتوقيفه عملية التركيب الپروتيني. وبما أن عملية التركيب الپروتيني في الخلايا البكتيرية والبشرية كلها تتم على تراكيب بنيوية تدعى **الريبوسومات** ribosomes فإن التتراسكلين يرتبط بأحد **المقرات** sites على الريبوسوم مانعا **الرنا المفتاحي** key RNA من الارتباط بالمقر ذاته، وهو ما يمنع زيادة طول السلسلة الپروتينية وتشكلها؛ أما في الخلايا البشرية فلا يتراكم التتراسكلين بمقدار كاف لمنع التركيب الپروتيني.

وبشكل مشابه، يجب أن يحدث **تنسخ الدنا** DNA replication في الخلايا البكتيرية والبشرية معا. ويمكن لمضادات حيوية مثل **السيپروفلوكساسين** ciprofloxacine أن تستهدف نوعيا إنزيما يدعى **مُلفِّف الدنا** DNA gyrase في البكتيرات، ولكن هذا المضاد الحيوي لا يؤثر في إنزيم ملفّف الدنا البشري. ■

<M. كانتوتور>، مدينة نيويورك

(*) How do antibiotics kill bacterial cells but not human cells?

كيف تضيء اليراعات ولماذا؟[(1)(*)]

يُجيب عن هذا السؤال <M. A. برانام> [الأستاذ المشارك بقسم الحشرات والديدان الخيطية في جامعة فلوريدا]:

هناك تفاعل كيميائي داخل اليراعات يمكّنها من الضياء، وهي عملية تسمى **الضيائية الأحيائية** bioluminescence. ينبعث وهج عندما يتحد أكسجين الخلايا مع الكالسيوم وجزيء ثلاثي فُسْفات الأدينوزين المختزن للطاقة وأصباغ اللّيوسيفرين بوجود إنزيم اللّيوسيفراز. وعلى العكس من المصباح الذي تتولد منه كمية كبيرة من الحرارة، فإن اليراعات تولد «ضوءا باردا»، بحيث إذا ارتفعت درجة حرارة العضو المحدث فيها، كما في مصابيح الإضاءة، فإن الحشرة لن تستطيع البقاء وتحمّل التجربة.

يتحكم عضو الإضاءة في بدء وتوقف انبعاث الضوء بإضافة الأكسجين إلى المواد الكيميائية الأخرى المطلوبة لإحداث الضوء. فعندما يكون الأكسجين متوافرا يصدر عضو الإضاءة ضوءا، أما إذا لم يكن متوافرا فإن المنطقة تصبح مظلمة. وتقوم الحشرات، وهي عديمة الرئات، بنقل الأكسجين من خارج جسمها إلى الخلايا الداخلية خلال سلسلة معقدة من الأنابيب الآخذة في الصغر، تعرف بالقُصَيْبات. وتعمل العضلات التي تتحكم في انسياب الأكسجين إلى خارج القصيبات ببطء نسبيا، ولذلك فإن وميض اليراعات بهذه السرعة ظل لغزا محيرا.

بيد أن الباحثين وجدوا حديثا أن أكسيد النيتريك يؤدي دورا حاسما، فالميتوكوندرات (الأجسام السُبَحِيّة) داخل الخلايا تحتفظ بأي أكسجين متوافر تستخدمه العُضَيّات في توليد الطاقة للخلية. ولحث الميتوكوندرات على إطلاق بعض الأكسجين فإن دماغ اليراعات يرسل إشارات لإنتاج أكسيد النيتريك الذي يحل محل الأكسجين في الميتوكوندرات، وبذلك يصبح الأكسجين الذي ينتقل إلى عضو الإضاءة حرا لكي يُستخدم في التفاعل الكيميائي الذي ينتج الضوء، ولكن لأن أكسيد النيتريك يتحلل سريعا فإن الأكسجين يحتبس مرة أخرى في الميتوكوندرات وينتهي إحداث الضوء.

وتضيء اليراعات لأسباب مختلفة، فهي تنتج استيرويدات دفاعية في أجسامها تجعلها غير سائغة للمفترسات، وتستخدم إضاءتها الفاجئة كإعلان تحذيري من طعمها البغيض. وتومض الأطوار اليافعة لكثير من اليراعات بأنماط فريدة لأنواعها تسمح بتمييز أفراد الجنس الآخر. وقد أظهرت دراسات عديدة أن الإناث تختار أزواجها اعتمادا على أساس نمط ضيائي مميز للذكور. وقد تبين أن معدلات الإضاءة الأسرع والأقوى هي الأكثر جاذبية للإناث في نوعين مختلفين من أنواع اليراعات. ■

<G. رايس>، العاصمة واشنطن

(*) How and why do fire flies light up?

(1) اليَراعة: جمعها يراع، ولا بأس من جمعها على يراعات للوضوح. وهي تعرف أيضا باسم الحُباحب. والترجمة الحرفية لاسم هذه الحشرات الدارج بالإنكليزية «الذباب الناري» تدل على أنه اسم مضلِّل. فهذه الحشرات ليست «ذبابا» على الإطلاق، وإنما هي من الحشرات الغمدية الأجنحة، التي تضم أيضا الخنافس والسوس. (التحرير)

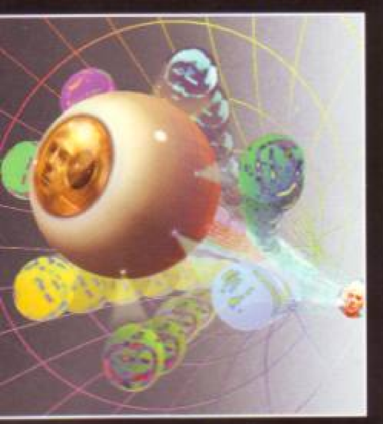
المجلد 23 ـ العددان 8/7
يوليو/أغسطس 2007

SCIENTIFIC AMERICAN
July / August 2007

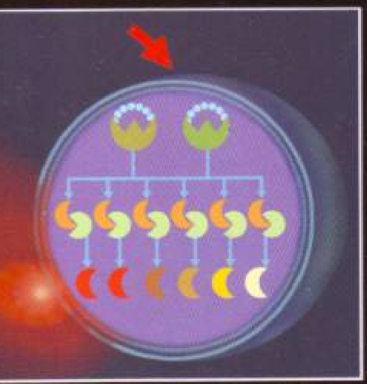
مجلة
العلوم
الترجمة العربية لمجلة ساينتفك أمريكان
تصدر شهريًا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

استخدام الهدروجين كوقود للسيارات

العددان 232/231 ـ السعر 1.500 دينار كويتي


الأفلام السينمائية في عيوننا


لعبة مأزق المسافر


طرق أفضل لاستهداف الألم

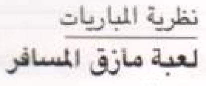
* الحدود المنطقية والرياضياتية
* هل هناك شفاء من الكَلَب؟
* البحث عن الكود العصبي
* قوة المحولات الريبية
* السيليكون يصدر حزمًا ليزرية.

Majallat AlOloom

المجلد 23 ـ العددان 8/7

يوليو/أغسطس 2007

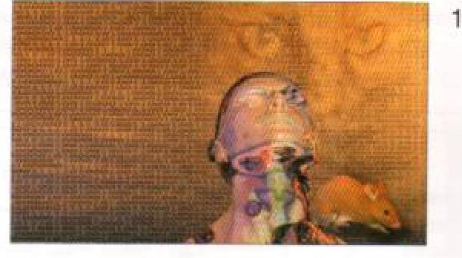
مجلة العلوم



المقالات

ترجمة أو مراجعة















«**مجلة العلوم**» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**» وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«**مجلة العلوم**» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«**ساينتفيك أمريكان**» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ، غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ، المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «**ساينتفيك أمريكان**» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول.



لعبة مأزق المسافر[*]

بشدة، يرفض لاعبو هذه اللعبة البسيطة الخيارَ العقلاني. وفي واقع الأمر، فإن تصرفهم اللامنطقي هذا يجعلهم في نهاية المطاف من الفائزين بجائزة أكبر ـ وهذه نتيجة تتطلب نوعا جديدا من المحاكمة الصورية[1].

<K. باسو>

بعد عودة <لوسي> و<باسل> من جزيرة نائية في المحيط الهادي، وجدا أن شركة الخطوط الجوية، التي سافرا على إحدى طائراتها، أتلفت القطع الأثرية المتطابقة التي اشتراها كل منهما. وقال أحد مديري تلك الشركة إنه سعيد بدفع تعويض لهذين الراكبين، لكنه عاجز عن تقدير قيمة هذه الأشياء الغريبة. وهو يرى أن مجرد سؤال المسافريْن عن السعر لا يُجدي نفعا، لأنهما سيبالغان في تقدير قيمة تلك القطع.

لذا فقد وضع ذلك المدير خطة أكثر تعقيدا، وذلك بأن يطلب إلى كل منهما كتابة سعر القطع، بحيث يكون الثمن عددا صحيحا من الدولارات يقع بين 2 و100، من دون أن يتشاورا حول ذلك. فإذا سجّلا العدد نفسه، قبله المدير باعتباره السعر الحقيقي، ومن ثم يدفع لكل منهما المبلغ المقابل. أما إذا سجلا عددين مختلفين، فسيفترض المدير أن العدد الأقل هو السعر الحقيقي، وأن الشخص الذي سجل العدد الأكبر قام بعملية غش. وفي هذه الحالة، يدفع لكل منهما العدد الأقل: إضافة إلى مكافأة وغرامة ـ فالشخص الذي كتب العدد الصغير، يكافأ بزيادة دولارين على المبلغ الذي قدمه لأمانته، أما ذاك الذي سجل العدد الكبير، فيغرم بخصم دولارين من المبلغ الصغير. وعلى سبيل المثال، إذا كتبت لوسي 46، وكتب باسل 100، حصلت لوسي على 48 دولارا وباسل على 44 دولارا.

تُرى، ما هما العددان اللذان سيكتبهما باسل و لوسي؟ وما هو العدد الذي تكتبه أنت؟

هذا النوع من السيناريوهات، التي يتاح فيها لفرد أو أكثر، خيارات يعتمدها، والتي تقدم فيها مكافآت وفقا لتلك الخيارات، يُسمى من قبل الناس الذين يدرسونه (**وهم الباحثون في نظرية المباريات**[2]) **ألعابا**[3]. وقد صممتُ هذه اللعبة «**مأزق المسافر**»[4] (TD) عام 1994 وفي ذهني عدة أهداف أهمها: تفنيد النظرة الضيقة **للسلوك العقلاني**[5] **والعمليات الإدراكية**[6] التي ينتهجها الاقتصاديون وكثير من المتخصصين في العلوم السياسية، وتحدي الفرضيات المؤيدة **لمذهب الحرية الاقتصادية**[7] التي ينطلق منها علم الاقتصاد التقليدي، وتسليط الضوء على **مُحَيِّرة**[8] منطقية **للعقلانية**[9].

وتحقق لعبة «مأزق المسافر» هذه الأهداف، لأن منطق هذه اللعبة يقتضي أن يكون العدد 2 الخيار الأفضل، مع أن معظم الناس ينتقون العدد 100، أو عددا قريبا من 100 ـ وهاتان فئتان من الناس، عناصر أولاهما لم يفكروا منطقيا، وعناصر الفئة الأخرى يدركون تماما أنهم منحرفون كثيرا عن الاختيار «العقلاني». إلى ذلك، يجني اللاعبون مكافأة أعلى بعدم تمسكهم بالمنطق بهذه الطريقة. لذا، ثمة شيء عقلاني في اختيار اللاعقلانية في لعبة مأزق المسافر.

وفي السنوات التي انقضت منذ تصميمي للعبة مأزق المسافر، حظيت هذه اللعبة باهتمام بالغ، إذ قام الباحثون بتوسيعها، وإعلان اكتشافاتهم التي حصلوا عليها بعد التجارب المختبرية. وقد ولّدت هذه الدراسات تبصرات في اتخاذ الناس لقراراتهم. ومع ذلك، فمازال ثمة أسئلة مفتوحة عن الطريقة التي يُطبق بها المنطق والمحاكمة العقلية على لعبة مأزق المسافر.

الحصافة[10] والعالِم نَاش[11][***]

لمعرفة السبب في أن 2 هو الخيار المنطقي، لننظر في خط التفكير، المقبول ظاهرا، الذي قد تسلكه لوسي: فكرتها الأولى هي

نظرة إجمالية/ اللاعقلانية المدركة بالإحساس[**]

- في لعبة مازق المسافر، يختار شخصان، كل على حدة، عددا صحيحا من 2 إلى 100، ويكافأ الشخص الذي عدده أصغر بمبلغ أكبر من المال. وتؤكد نظرية المباريات ان العقلانية يجب ان تقود اللاعبين إلى اختيار العدد 2، لكن معظم الناس ينتقون عددا صحيحا قريبا من 100.
- والتوصل إلى فهم دقيق للاختيار العقلاني الا نكون عقلانيين، يحتاج إلى نوع جديد من المحاكمة العقلية.
- إن نتائج (لعبة) مازق المسافر تناقض افتراض الاقتصاديين بان نظرية المباريات قادرة على التنبؤ بالطريقة التي يُفترض أن يتصرف بها الناس العقلانيون الأنانيون. وتبين هذه النتائج أيضا، ان الأنانية لا تعود دائما على الذين يتصفون بها بفوائد اقتصادية جيدة.

(*) THE TRAVELER'S DILEMMA
(**) Overview/ Sensible Irrationality
(***) Common Sense and Nash
(1) formal reasoning أو التفكير الصوري.
(2) game theorists
(3) games
(4) Traveller's Dilemma
(5) rational behavior
(6) cognitive processes
(7) libertarian presumptions
(8) paradox
(9) rationality
(10) common sense الحسّ العام أو الفطرة السليمة.
(11) John F. Nash (13/6/1928 ...) : أحد العلماء الأمريكيين في الرياضيات وتحديدا في: نظرية المباريات، الهندسة التفاضلية والمعادلات التفاضلية الجزئية. حاز عام 1994 على جائزة نوبل في الاقتصاد مشاركة مع باحثين آخرين في نظرية المباريات. وقد اشتهر شعبيا بعبقريته في الرياضيات وصراعه مع **الفُصَام** schizophrenia. (التحرير)



أنها يجب أن تكتب أكبر عدد ممكن، وهو 100، الذي يجعلها تحصل على 100 دولار إذا كان باسل طماعا مثلها. (إذا كان ثمن القطع الأثرية حقا أقل كثيرا من 100 دولار، فإنها ستفكر الآن بسرور في غباء خطة مدير شركة الخطوط الجوية.)

بيد أن ما طرأ على بالها سريعا أنها لو كتبت 99 بدلا من 100، فستجني مبلغا أكبر قليلا من الدولارات، لأنها ستحصل، في تلك الحالة، على 101 دولار. لكن هذه الفكرة ستخطر، قطعا، ببال باسل، فلو كتب كلاهما 99 لحصلت لوسي على 99 دولارا. ولو كتب باسل 99، لكان من الأفضل لها كتابة 98، لأنها ستحصل، في هذه الحالة، على 100 دولار. غير أن هذا المنطق نفسه سيقود باسل إلى اختيار العدد 98 أيضا. وفي تلك الحالة، يمكنها كتابة 97 والحصول على 99 دولارا، وهكذا. إن الاستمرار في هذا الخط من المحاكمة العقلية، سيجعل المسافرَيْن ينزلان إلى أصغر عدد مسموح به، وهو 2. وقد يبدو أن من المعقول جدا أن تسلك لوسي، فعلا، كل الطريق الذي يؤدي إلى 2 لدى اتباعها هذا الأسلوب. وهذا ما يقودنا إليه المنطق.

وعموما، يستعمل المتخصصون في نظرية المباريات هذا النمط من التحليل، الذي يُسمى **استقراء تراجعيا**(1). ويتنبأ الاستقراء التراجعي بأن كل لاعب سيكتب 2، وأن المطاف سينتهي بكل منهما إلى الحصول على دولارين (وهذه نتيجة قد تفسر السبب في نجاح مدير شركة الطيران في عمله بالشركة). وعمليا، تتنبأ جميع **النماذج**(2)، التي يستعملها العلماء في نظرية المباريات بالوصول إلى هذه النتيجة في لعبة «مأزق المسافر» - وهي أن اللاعبَيْن يحصلان على مبلغ أقل بمقدار 98 دولارا مما يحصلان عليه لو اختار كل منهما ببساطة 100 دولار من دون أن يفكرا مليا بالفوائد التي يجنيانها من انتقائهما عددا أصغر.

وترتبط لعبة مأزق المسافر بلعبة **مأزق السجين**(3) الأكثر انتشارا بين الناس، التي استُجوب فيها مشبوهان بارتكاب جريمة خطيرة، كل على انفراد، وكان يحق لكل منهما تجريم الآخر (مقابل تساهل السلطات معه) أو البقاء صامتا (وهذا لا يوفر للشرطة أدلة ملائمة للبت في القضية، وذلك إذا بقي السجين الآخر صامتا أيضا). وتبدو هذه الحكاية مختلفة جدا عن قصة المسافرَيْن اللذيْن تضررت قطعهما الأثرية، لكن رياضيات المكافآت لكل خيار في «مأزق السجين» مطابقة لرياضيات المكافآت في «مأزق المسافر»، التي يسمح فيها لكل لاعب أن يختار 2 أو 3 فقط، بدلا من أي عدد صحيح من 2 إلى 100.

وفي نظرية المباريات، يحلل العلماء الألعاب بعيدا عن زخارف القصص النابضة بالحياة، وذلك بدراسة ما يسمى **مصفوفة المكاسب**(4) لكل لاعب - وهي شبكة مربعة تحوي جميع المعلومات ذات الصلة عن **الخيارات والمكاسب**(5) المحتملة لكل لاعب [*انظر المؤطر في الصفحة 7*]. ويقابل اختيار لوسي سطرٌ، واختيار باسل عمودٌ؛ ويحدد العددان في المربع المختار مكافأتيهما.

وعلى الرغم من الاختلاف في الأسماء، فإن «مأزق السجين»، وما ذكرناه عن اختيار 2 في «مأزق المسافر»، يقدمان لاعبين لا يواجهان مأزقا حقيقيا. ويرى كل مشارك خيارا صحيحا لا لبس فيه، وهو 2 (أو، تجريم الشخص الآخر، عند عرض قصة السجين). يسمى هذا الخيار **الخيار المسيطر**(6)، لأنه أفضل ما يمكن عمله، بصرف النظر عما يفعله اللاعب الآخر. وباختيار لوسي 2 بدلا من 3، فإنها تحصل على 4 دولارات بدلا من 3 دولارات إذا اختار باسل 3، وتحصل على دولارين اثنين بدلا من لا شيء إذا اختار باسل 2.

وبالمقابل، لا يوجد للرواية الكاملة لمأزق المسافر خيار مسيطر. فإذا اختار باسل 2 أو 3، فأفضل ما تفعله لوسي هو اختيار 2. لكن إذا اختار باسل أي عدد من 4 إلى 100، فالأفضل للوسي هو اختيارها عددا أكبر من 2.

وعند دراسة مصفوفة المكاسب، فإن علماء نظرية المباريات يعتمدون غالبا على **توازن ناش**(7)، نسبة إلى <J. F. ناش، جونير>



(1) backward induction
(2) models
(3) Prisoner's Dilemma
(4) payoff matrix
(5) choices and payoffs
(6) the dominant choice
(7) Nash equilibrium

<جون F. ناش>

تتنبأ نظرية المباريات بأن «توازن ناش» يحدث عندما تؤدى لعبةُ مأزق المسافر بأسلوب عقلاني.

[من جامعة برنستون]. (قدّم <R. كرو> العالم <ناش> في الفيلم السينمائي *A Beautiful Mind*). وتوازن ناش نتيجة يستخلص منها أنه ما من لاعب يمكنه تحسين أدائه عندما ينحرف انحرافا أحادي الجانب. لننظر في النتيجة (100، 100) في مأزق المسافر (العدد الأيسر هو اختيار لوسي، والأيمن اختيار باسل)، فإن غيرت لوسي اختيارها إلى 99، فستكون النتيجة (99، 100)، وعندئذ تحصل على 101 دولار. ولكون لوسي أفضل حالا بهذا التغيير، فإن النتيجة (100، 100) لا تمثل توازن ناش.

يوجد لمأزق المسافر توازن واحد فقط لناش ـ وهي النتيجة (2، 2)، التي اختار وفقا لها كل من لوسي وباسل العدد 2. إن الاستعمال الكثير لتوازن ناش هو السبب الرئيسي في تنبؤ كثير من التحليلات بهذه النتيجة في مأزق المسافر.

ولدى المتخصصين في نظرية المباريات مفاهيمُ توازن أخرى هي: **التوازن الشديد**[1] و**الحل القابل للعقلنة**[2] و**التوازن التام**[3] و**التوازن القوي**[4]، وغير ذلك. ويؤدي كل من هذه المفاهيم إلى التنبؤ بـ(2، 2) في حال مأزق المسافر. وهنا تكمن المشكلة. فمعظمنا يجد نفسه مدفوعا بإحساس يوجهه إلى اللعب بعدد أكبر كثيرا، وأنه سيحصل، في المتوسط، على مبلغ أكبر كثيرا من دولارين. ويبدو أن حدسنا مخالف لنظرية المباريات كلها.

اقتضاءات في علم الاقتصاد[*]

إن اللعبة وتنبّؤها الحدسي لنتيجتها يناقضان أيضا أفكار الاقتصاديين. لقد كان علماء الاقتصاد في وقت مبكر مشدودين بقوة إلى الفرضيات المؤيدة لمذهب الحرية الاقتصادية، التي تقضي بترك الأفراد مسيَّرين بإراداتهم ورغباتهم الخاصة، لأن خياراتهم الأنانية ستجعل الاقتصاد يعمل بفاعلية. لكن بروز طرائق نظرية المباريات أدى دورا كبيرا في تحرير علم الاقتصاد من هذه الفرضيات. غير أن هذه الطرائق ظلت طويلا مستندة إلى **مسلَّمة**[5] مفادها أن الناس يُقْدِمون على خيارات عقلانية أنانية يمكن لنظرية المباريات التنبؤ بها. بيد أن مأزق المسافر يقوض كلا من فكرة مذهبِ الحرية الاقتصادية، التي تقول إن الأنانية غير المقيدة مفيدة للاقتصاد، وعقيدةِ نظرية المباريات بأن الناس سيكونون أنانيين وعقلانيين.

تقضي النتيجة «الفعالة» في مأزق المسافر بأن يختار كلا المسافرَيْن 100؛ لأن ذلك يؤدي إلى حصول كلا اللاعبيْن على الحد الأعلى لمجموع ما يكسبانه. أما أنانية الحرية الاقتصادية فستجعل الناس يبتعدون عن 100 إلى أعداد أصغر بفاعلية أقل، أملا منهم في الحصول على مبلغ أكبر، كل على حدة.

وإذا لم يقم الناس باستعمال استراتيجية توازن ناش (2)، فإن افتراضات الاقتصاديين، المتعلقة بالسلوك العقلاني يجب مراجعتها.

وبالطبع، فمأزق المسافر ليس اللعبة الوحيدة التي تتحدى الاعتقاد بأن الناس يقومون دائما باختيارات عقلانية أنانية. لكن ما يثير الناحية الأكثر إدهاشا، هو أنه حتى لو لم يكن كل من اللاعبيْن معنيا إلا بالفائدة العائدة إليه شخصيا، فليس من المعقول بالنسبة إليهما اللعب بالطريقة التي يتنبأ بها التحليل الصوّري.

ولمأزق المسافر نتائج أخرى في فهمنا لأوضاع عالمنا الحقيقي. فاللعبة تسلط الضوء على الطريقة التي يجري وفقها سباق التسلح، بوصفه عملية تدريجية تسير بنا بخطوات صغيرة لتوصلنا إلى نتائج تتزايد سوءًا. وقد حاول علماء نظرية المباريات أيضا، توسيع مأزق المسافر لفهم الطريقة التي تسلكها شركتان متنافستان، تجبر كل منهما الشركة الأخرى على تخفيض أسعارها، مما يؤدي إلى إلحاق الضرر بهما (مع أن ذلك يصب، في هذه الحالة، في مصلحة المستهلكين الذين يشترون بضائع من تلك الشركتين).

وقد أدت جميع هذه الاعتبارات إلى طرح سؤالين: كيف يلعب الناس فعليا هذه اللعبة؟ وإذا اختار معظم الناس عددا أكبر كثيرا من 2، فهل بمقدورنا تفسير سبب فشل نظرية المباريات في التنبؤ بذلك؟ فيما يتعلق بالسؤال الأول، فنحن نعرف الآن الكثير عنه. أما السؤال الآخر، فلا نعرف عنه سوى القليل.

كيف يتصرف الناس في الواقع[**]

خلال العقد الماضي، أجرى الباحثون كثيرا من التجارب على مأزق المسافر، وتوصلوا إلى كثير من المعلومات الجوهرية عن هذه اللعبة. وثمة تجربة مختبرية شهيرة، استُعملتْ فيها قطع نقود حقيقية من قبل طلبة كلية الاقتصاد، بوصفهم لاعبين. نفذ التجربة في جامعة فرجينيا كل من <C. M. كابرا> و <J. K. گويري> و<R. گوميز> و <C. A. هولت>. دُفع للطلبة 6 دولارات للمشاركة، واحتفظوا بأي نقود إضافية كسبوها في اللعبة. ولتسهيل التعامل، كانت الخيارات تقدر بالسنتات بدلا من الدولارات، وكان مجال الخيارات محددا بين 80 و 200، وكانت قيمة الغرامة والمكافأة تتغير في المراحل المختلفة للعبة، من مبلغ صغير قدره 5 سنتات، إلى آخر كبير قدره 80 سنتا. وقد أراد المجربون معرفة ما إذا كان لتغيير حجم الغرامة والمكافأة أهمية في طريقة أداء اللعبة. إن تغيير حجم المكافأة والغرامة لا يغير أيا من التحليلات الصورية؛ فالاستقراء التراجعي يؤدي دائما إلى النتيجة (80، 80)، وهي توازن ناش في كل حالة.

لقد أثبتت التجربة التوقع الحدسي بأن اللاعب المتوسط لا يطبق استراتيجية توازن ناش 80. وعندما كانت قيمة المكافأة 5 سنتات، كان متوسط اختيار اللاعبين هو 180؛ وهذا الاختيار تدنى إلى 120 عندما ارتفعت المكافأة إلى 80 سنتا.

(*) Implications for Economics
(1) strict equilibrium
(2) rationalizable solution
(3) perfect equilibrium
(4) strong equilibrium
(5) axiom
(**) How People Actually Behave

مصفوفة المكاسب في «مأزق المسافر»(*)

توفر **مصفوفة المكاسب**[1] هذه لعلماء نظرية المباريات جميع ما يحتاجون إلى معرفته عن لعبة مأزق المسافر. فاختيارات ‹لوسي› المحتملة مبينة في العمود الموجود في أقصى *اليسار*، أما اختيارات ‹باسل› فهي في السطر العلوي. وأول عدد في المربع الذي يتقاطع فيه السطر والعمود المختاران هو مكسب لوسي، والعدد الثاني هو مكسب باسل. فمثلا، إذا اختارت لوسي 98 وباسل 99، فإن لوسي تستلم 100 دولار، وباسل يستلم 96 دولارا.

ونتيجة اختيار كلا اللاعبين 2 وحصول كل منهما على دولارين (*اللون الذهبي*)، تُسمى **توازن ناش** Nash equilibrium. ويكون أداء لوسي أسوأ [لأنها تكسب 0 دولار] إذا اختارت أي عدد آخر وواصل باسل اختياره للعدد 2. وبالمثل، فإن أداء باسل يكون أسوأ إذا اختار وحده عددا ما غير العدد 2.

وعندما تُقصَر الخيارات على 2 و 3 فقط [*المستطيل الأسود اللون*]، تصبح اللعبة مكافئة للعبة مأزق السجين.

اختيار باسل [بالدولارات]

اختيار لوسي [بالدولارات]	2	3	4	...	98	99	100
2	2 2	4 0	4 0	...	4 0	4 0	4 0
3	0 4	3 3	5 1	...	5 1	5 1	5 1
4	0 4	1 5	4 4	...	6 2	6 2	6 2
...	...	...	...		...	...	...
98	0 4	1 5	2 6	...	98 98	100 96	100 96
99	0 4	1 5	2 6	...	96 100	99 99	101 97
100	0 4	1 5	2 6	...	96 100	97 101	100 100

درستْ ‹كابرا› وزملاؤها، أيضا، كيف يمكن أن يتغير سلوك اللاعبين نتيجة ممارسة لعبة مأزق المسافر مرارا وتكرارا. فهل يتعلمون اختيار توازن ناش، حتى لو لم يكن هذا حدسهم الأول؟ وفعلا، عندما كانت المكافأة كبيرة، كان اللعب بمرور الوقت، يتقارب نزولا من توازن ناش 80. بيد أن ما يثير الاستغراب هو أنه عندما كانت المكافآت ضئيلة، كان الاختيار يتزايد باتجاه الحد الأقصى المقابل، وهو 200.

تلقت حقيقة كون الناس لا يختارون، في الغالب، توازن ناش، مزيدا من الدعم من تجربة جرت عن طريق الإنترنت، لم تقدم فيها دفعات مالية حقيقية، نفذها ‹A. روبنشتاين› [من جامعة تل أبيب وجامعة نيويورك] منذ عام 2002 إلى عام 2004. وقد تطلبت اللعبة من اللاعبين، الذين كانوا سيحضرون إحدى محاضرات روبنشتاين عن «نظرية المباريات وناش»، اختيار عدد صحيح بين 180 و 300، كان عليهم اعتباره مقدرا بالدولارات. وكان مقدار المكافأة/ الغرامة محددا بخمسة دولارات.

وقد استجاب نحو 2500 شخص من سبع دول، مما هيأ للتجربة حجمَ عينة كبيرا وتنوعا واسعا لا يمكن توفيره في المختبر. وقد اختار أقل من سُبْع عدد اللاعبين توازن ناش 180. واختار معظمهم (55 في المئة) العدد الأكبر 300 [*انظر المؤطر في الصفحة 8*]. وما أثار الدهشة هو أن البيانات كانت متشابهة جدا في الزمر الجزئية المختلفة، مثل الناس المنتمين إلى دول مختلفة.

لكن عمليات التفكير التي تولد هذا النمط من الاختيارات تظل غامضة. وبوجه خاص، كان أكثر الاستجابات شيوعا (300) هو الاستراتيجية الوحيدة التي «سيطرت» في اللعبة ـ وهذا يعني استراتيجية أخرى (299) لا يمكن أن تفعل أسوأ من ذلك، وتكون أحيانا أفضل.

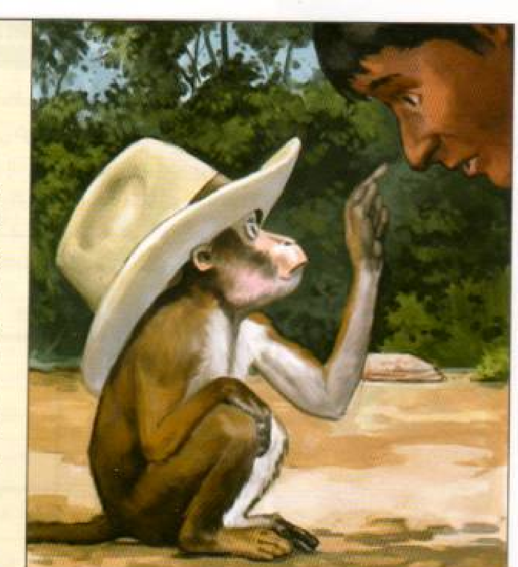
قسّم ‹روبنشتاين› الاختيارات الممكنة إلى أربع مجموعات محتملة من الأعداد، ووضع فرضية تقضي بأن ثمة عملية إدراكية مختلفة تكمن وراء كل منها، فالعدد 300 هو استجابة عاطفية عفوية. واختيار عدد يقع بين 295 و 299 يتضمن محاكمة عقلية استراتيجية (مثلا، قدرا معينا من الاستقراء التراجعي). وأي عدد من 181 إلى 294 يصلح، إلى حد ما، ليكون اختيارا عشوائيا. وأخيرا، فنظرية المباريات تفسر سبب اختيار 180، لكن اللاعبين ربما توصلوا إلى ذلك العدد بأنفسهم، أو ربما كان لديهم معرفة سابقة باللعبة.

وثمة اختبار **لمُخَمَّنة روبنشتاين**[2]، المتعلقة بالمجموعات الثلاث الأولى، لرؤية المدة التي استغرقها كل لاعب لاتخاذ قرار. وفي الحقيقة، فأولئك، الذين اختاروا من 295 إلى 299، استغرقوا وسطيا أطول وقت (96 ثانية)، في حين أن من اختار من 181 إلى 294 أو 300 استغرق قرابة 70 ثانية ـ وهذا ينسجم مع فرضية روبنشتاين القائلة إن الناس الذين اختاروا من 295 إلى 299 فكروا أكثر من أولئك الذين اعتمدوا خيارات أخرى.

لقد أجرى المتخصصون في نظرية المباريات عددا من المحاولات لتفسير عدم اختيار عدد كبير من اللاعبين توازن ناش في لعبة مأزق المسافر. وقد حاجّ بعض المحللين في أنه ثمة كثير من الناس غير قادرين على القيام بالمحاكمة الاستنتاجية الضرورية، ومن ثم فهم يعتمدون اختيارات غير عقلانية عن غير علم. ولا بد أن يكون هذا التفسير صحيحا في بعض الحالات، لكنه لا يفسر جميع النتائج، كتلك التي حصل عليها عام 2002 ‹T. بيكر› و ‹M. كارتر› و ‹J. ناييف›، الذين كانوا جميعا حينذاك في جامعة هوهنهايم بألمانيا. وفي التجربة التي أجروها، لعب 51

(*) Payoff Matrix of the Traveller's Dilemma
(1) payoff matrix
(2) Rubenstein's conjecture

نظرية المباريات مقابل نظرية اتخاذ القرار العادية :
أنا أعرف أنك تعرف أنني أعرف ...(*)



سمعتُ هذه الحكاية في الهند. فعندما كان بائع قبعات يصحو من قيلولته تحت إحدى الأشجار، وجد أن مجموعة من القرود نقلت جميع قبعاته إلى أعلى الشجرة. عند ذلك انتابته نوبة غضب، وألقى بقبعته التي كان يعتمرها على الأرض. وما إن رأت القرود ـ المعروف عنها حبها للتقليد ـ ما فعل الرجل، حتى رمت جميع القبعات على الأرض، وإذ ذاك، سارع البائع بجمعها.

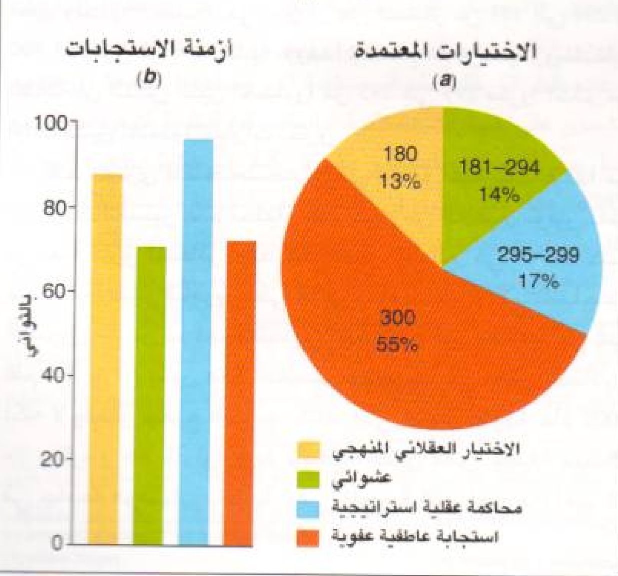
بعد نصف قرن من هذا الحادث، وضع حفيد البائع ـ الذي هو أيضا، بائع قبعات ـ بضاعته تحت الشجرة نفسها لينعم بقسط من القيلولة. وعندما استيقظ، أصيب بالفزع حين اكتشف أن القرو[د] أخذت جميع قبعاته إلى أعلى الشجرة. وإذ ذا[ك] تذكر حكاية جده، ومن ثم قذف بقبعته التي كان[ت] على رأسه إلى الأرض. لكن، وبسبب خفي، لم ير[مِ] أي من القرود أي قبعة، وقام واحد فقط من القرو[د] بالنزول إلى الأرض، ثم أمسك بالقبعة بقوة، واتج[ه] نحو بائع القبعات، ووجه إليه صفعة عنيفة وقال: «هل تظن أنك الوحيد الذي له جد؟»

توضح هذه الحكاية اختلافا مهما بين نظرية اتخا[ذ] القرار العادية ونظرية المباريات. ففي النظر[ية] الأخيرة، ما هو عقلاني للاعب قد يعتمد على ما ه[...]

عضوا من جمعية نظرية المباريات ـ وجميعهم عمليا متخصصون محترفون في هذه النظرية ـ اللعبة الأصلية في مأزق المسافر، من 2 إلى 100. وقد لعب كل منهم مع نظرائه الخمسين الآخرين، وذلك باختيارهم استراتيجية وإرسالها إلى الباحثين. قد تكون الاستراتيجية عددا وحيدا يُستعمل في كل لعبة، أو استعمال تشكيلة من الأعداد، واعتماد عدد مرات استعمال كل منها. وقد

ما الذي كانوا يفكرون فيه ؟(**)

افترض الباحثون أن عمليات التفكير المختلفة تكمن وراء الأنماط المختلفة من الخيارات التي اعتمدها الناس في لعبة مأزق المسافر، التي تمتد فيها الخيارات من 180 إلى 300 [*الرسم البياني (a)*] : فعندما تكون استجاباتهم عاطفية وعفوية، يختارون 300؛ أما إذا كان الاختيار نتيجة تفكير استراتيجي، فهم يختارون [295-299]؛ وأما إذا كان عشوائيا، فيختارون [181-294]. إن اللاعبين، الذين يعتمدون خيارا عقلانيا صوريا [180]، ربما يكونون قد استنتجوه أو عرفوه مسبقًا. وكما هو متوقع، فالناس الذين يعتمدون خيارات «عفوية» أو «عشوائية» يستغرقون في عملية اختيارهم الفترات الزمنية الأقصر [*الرسم البياني (b)*].



تضمنت اللعبة نظام مكافآت نقدية: يختار المجربون لاعبا بطريقة عشوائية ليربح 20 دولارا مضروبا بالعدد المقابل لمتوسط ربح هذا اللاعب في اللعبة. وهكذا فإن الفائز، الذي كان متوسط ربحه 85 دولارا، حصل على 1700 دولار.

ومن بين اللاعبين الذين عددهم 51، اختار 45 منهم عددا وحيدا لاستعماله في كل لعبة (أما الستة الآخرون، فاختاروا أكثر من عدد واحد). ومن بين هؤلاء الذين عددهم 45، لم يختر توازن ناش (2) إلا ثلاثة منهم، واختار عشرة منهم الاستراتيجية (100)، كما اختار 23 منهم أعدادا من 95 إلى 99. ومن المفترض أن يعرف المتخصصون في نظرية المباريات كيف يفكرون استنتاجيا، لكنهم، عموما، لم يعتمدوا الاختيار العقلاني الذي تمليه نظرية المباريات المنهجية.

ولو نظرنا إلى الأمر بطريقة سطحية، لبدا لنا أن تفسير اختياراتهم بسيط، وهو أن معظم المشاركين توصلوا إلى حكم حصيف بأن نظراءهم سيختارون أعدادا من شريحة التسعينات العالية، لذا فاختيار عدد كبير، بوجه مشابه، يؤهلهم لكسب أعلى عائد متوسط. لكن، لماذا توقع كل شخص أن يختار كل شخص آخر عددا كبيرا؟

ربما كانت **الغيرية**(1) مغروسة بقوة في نفوسنا جنبا إلى جنب مع الأنانية، لذا فسلوكنا حصيلة صراع بينهما. نحن نعرف أن مدير شركة الخطوط الجوية سيدفع أكبر قدر من المال إذا اختار كلاهما 100. وكثير منا لا يرضى أن «يخذل» رفيقه في السفر ليربح مجرد دولار إضافي، لذا فنحن نختار 100، حتى لو كنا ندرك تماما، عن سابق تفكير، أن 99 خيار أفضل لنا كأفراد.

ولقطع شوط أبعد في تفسير المزيد من أنماط السلوك التي تُرى في مثل هذه التجارب، قدم بعض الاقتصاديين افتراضات قوية، لكنها لا تحظى بقدر عال من الواقعية، ثم استخلصوا السلوك المرصود من نماذج معقدة. وإني لا أعتقد أننا سنتعلم الكثير من هذا الأسلوب. ومع تحول هذه النماذج والافتراضات لتصبح أعقد من أن تكون ملائمة للبيانات، فإنها توفر لنا بصيرة تضعف قوتها مع الزمن.

(*) Game Theory vs. Ordinary Decision Theory: I Know that You Know that I Know ...
(**) What Were They Thinking?
(1) altruism

عقلاني للاعب الآخر. فكي تتخذ لوسي قرارها السليم، يجب عليها أن تضع نفسها في موضع باسل، وتفكر فيما يجب أن يفكر فيه. لكنه سيفكر فيما تفكر لوسي فيه، وهذا يؤدي إلى عملية تراجع لانهائية. ويصف علماء نظرية المباريات هذا الوضع بقولهم: «العقلانية هي معرفة مشتركة بين اللاعبين.» وبعبارة أخرى، فإن لوسي و باسل عقلانيان، وكل منهما يعرف أن الآخر عقلاني، وكل منهما يعرف أن الآخر يعرف، وهلم جرا.

والافتراض بأن العقلانية معرفة مشتركة أمر شائع في نظرية المباريات، ونادرا ما يُعلن ذلك صراحة. لكنه قد يقحمنا في مشكلات في بعض الألعاب، مثل لعبة مأزق السجين، التي يمكن للاعبين فيها أن يقوموا بحركات متعارضة مع هذا الافتراض.

وإني أعتقد أن الافتراض بأن العقلانية معرفة مشتركة هي مصدر التعارض بين المنطق والحدس وبأن الحدس، في حالة لعبة مأزق المسافر، سليم، وهو بانتظار إثبات صحته من خلال منطق أفضل. والمشكلة شبيهة بما حدث في وقت مبكر من نشوء نظرية المجموعات. ففي ذلك الوقت، كان الرياضياتيون يقبلون بأن وجود **المجموعة الشاملة**[1] ـ وهي المجموعة التي تحوي كل شيء ـ شيء مسلَّم به. فقد بدت المجموعة الشاملة طبيعية وواضحة جدا، لكن كثيرا من محيرات نظرية المجموعات نشأت نتيجة افتراض وجود تلك المجموعة، الذي أثبت الرياضياتيون الآن خطأه. وفي رأيي، فإن المعرفة المشتركة للعقلانية، التي يقبل بها علماء نظرية المباريات، تواجه مصيرا مشابها.



مسألة غير محلولة[*]

لكن التحدي الباقي ليس هو تفسير السلوك الحقيقي للناس العاديين أمام لعبة مأزق المسافرين. ويعود الفضل جزئيا إلى التجارب التي أوضحت أن من المحتمل أن تكون الغيرية والتكيف الاجتماعي، والمحاكمة الخاطئة، هي التي توجه معظم اختيارات الأفراد. غير أنني لا أتوقع أن يختار كثير من الناس 2، إذا استُبعدت هذه العوامل الثلاثة جميعها من الصورة. تُرى، كيف نستطيع تفسير ذلك إذا واصل حقا معظم الناس اختيار أعداد كبيرة، ربما في شريحة التسعينات، حتى لو لم يكونوا مفتقرين إلى القدرة على الاستنتاج، وكانوا يكبتون غيريّتهم الطبيعية وسلوكهم الاجتماعي كي يلعبوا بقلب قاس، في مسعى للحصول على أكبر قدر ممكن من المال؟ وخلافا للقِسْم الأكبر من نظرية المباريات الحديثة، الذي يمكن أن يستعمل فيه قدر كبير من الرياضيات، التي يسهل استيعابها من قِبَل من يعرفون التقنيات الرياضية، فهذا سؤال صعب يتطلب تفكيرا إبداعيا.

لنفترض أنا وأنت اثنين من اللاعبين الحاذقين والقساة القلوب. فما الذي يمكن أن يدور بخلدنا؟ أنا أتوقع أنك ستختار عددا كبيرا وليكن في المجال من 90 إلى 99؛ عندئذ يجب عليَّ ألا أختار 99، لأنه أيا كان العدد الذي تختاره من هذا المجال، فإن اختياري للعدد 98 سيكون جيدا أو أفضل بالنسبة إليّ. لكنك إذا كنت تنطلق من المعرفة نفسها للسلوك البشري غير الرحيم، مثلما أفعل أنا، واتبعت المنطق نفسه، فإنك ستعتمد 99 خيارا لك ـ وباستعمال النوع نفسه من المحاكمة العقلية التي كانت ستجعل لوسي و باسل يختاران 2، فسرعان ما نلغي كل عدد من 90 إلى 99. لذا من غير الممكن جعل مجموعة «الأعداد الكبيرة، التي قد يختارها منطقيا ذوو القلوب القاسية،» مجموعة محددة تماما، ونكون دخلنا حقل المعرفة الصعب فلسفيا وذلك بإعمال العقل في فذلكات منطقية ذات طبيعة أساسية غير محددة جيدا.

ولو تعين عليَّ أداء هذه اللعبة، لقلت لنفسي: «انسَ منطق نظرية المباريات واختر عددا كبيرا (ربما كان 95)، وأنا أعرف أن غريمي سيختار شيئا مشابها، وسيتجاهل كلانا الحجة المنطقية بأن العدد الأصغر التالي سيكون أفضل من أي عدد نختاره.»

وما يثير الاهتمام أنه يرتبط بهذا الرفض للعقلانية والمنطق نوع من «**ما وراء العقلانية**»[2]. وإذا سلك كلا اللاعبيْن الطريق ما وراء العقلاني هذا، فسيكون كل منهما على ما يرام. وفكرة السلوك المولّد بالرفض العقلاني للسلوك العقلاني شيء يصعب إعطاؤه صيغة معينة. لكن فيه تكمن الخطوة الواجب اتخاذها في المستقبل لحل **المحيِّرات العقلانية**[3] التي تزعج نظرية الألعاب، و**المكودة**[4] في لعبة مأزق المسافر. ■

(*) Unsolved Problem
(1) universal set
(3) paradoxes of rationality
(5) welfare economics
(2) meta-rationality
(4) codified
(6) Econometric Society

المؤلف

Kaushik Basu

*أستاذ علم الاقتصاد في جامعة كارل ماركس للدراسات الدولية، ومدير مركز علم الاقتصاد التحليلي في جامعة كورنل. نشر عددا كبيرا من المقالات في مجلات أكاديمية تعنى بتطوير علم الاقتصاد، **واقتصاد الرخاء**[5]، ونظرية المباريات، والتنظيم الصناعي. وهو يكتب، أيضا، مقالات في وسائل الإعلام الشعبية. وله عمود شهري في BBC News online. وهو زميل في **جمعية الاقتصاد القياسي**[6].*

مراجع للاستزادة

On the Nonexistence of a Rationality Definition for Extensive Games. Kaushik Basu in *International Journal of Game Theory*, Vol. 19, pages 33–44; 1990.

The Traveler's Dilemma: Paradoxes of Rationality in Game Theory. Kaushik Basu in *American Economic Review*, Vol. 84, No. 2, pages 391–395; May 1994.

Anomalous Behavior in a Traveler's Dilemma? C. Monica Capra et al. in *American Economic Review*, Vol. 89, No. 3, pages 678–690; June 1999.

The Logic of Backwards Inductions. G. Priest in *Economics and Philosophy*, Vol. 16, No. 2, pages 267–285; 2000.

Experts Playing the Traveler's Dilemma. Tilman Becker et al. Working Paper 252, Institute for Economics, Hohenheim University, 2005.

Instinctive and Cognitive Reasoning. Ariel Rubinstein. Available at arielrubinstein.tau.ac.il/papers/Response.pdf

Scientific American, June 2007

البحث عن الكود العصبي(*)

إن معرفة الكيفية التي تُفلت وفقها الجرذان من القطط، تكشف كيف تُترجم إلى معلومات عاصفةٌ من النبضات التي تكتسح الدماغ.

<M. A. L. نيكوليليس> - <S. ريبيرو>



حينما انفتحت فجأةً الأبواب الانزلاقية بتحكم حاسوبي كاشفة حجرة دامسة الظلام، ولكنها مألوفة بالفعل للجرذة إيش، قامت الجرذة إيش بالضبط بما كان متوقعا منها بعد كل هذه الأسابيع من التدريب القاسي. فاندفعت بقوة دون تردد داخل الحجرة الضيقة، متحركة بأقصى سرعة نحو الجدار المقابل، ومتأثرة على الأرجح بالمكافأة التي كانت متأكدة من الحصول عليها نظرا لأدائها الممتاز في الآونة الأخيرة، وكانت على أتم استعداد لاستعراض مهاراتها والتباهي بها.

لقد بدأت التجربة لحظة اجتياز الجرذة إيش حزمةً من الأشعة الضوئية تحت الحمراء أمام فتحة موضوعة في مسار عَدْوها مباشرة. كانت هذه الفتحة، المطوقة من الجانبين بذراعين صغيرين لقضيبين معدنيين كل منهما على شكل الحرف T يبرزان من جانبي الحجرة، تحدد حيزا (شقا صغيرا) ضيقا، وعلى الجرذة إيش أن تمر من خلاله لتصل إلى الجدار المقابل. وكان العمل الذي عليها أن تقوم به أبعد ما يكون عن التفاهة، إذ كان عليها في محاولة واحدة أن تقدر قطر الفتحة بأسرع ما يمكن. ولجعل الأمور أكثر تعقيدا وإثارة للاهتمام كان حجم الفتحة يتغير عشوائيا من تجربة إلى أخرى. ولم يكن أمام الجرذة إيش وهي غير قادرة على رؤية القضيبين إلا سبيل واحد لبلوغ هدفها ألا وهو الاعتماد كلية على حسها اللمسي الشديد الحساسية.

لقد تمكنت الجرذة إيش على نحو مثير للدهشة في 90% من التجارب أن تميز على نحو صحيح ما إذا كانت الفتحة أضيق أو أوسع من ذي قبل، حتى عندما لم يتغير قطر الفتحة إلا بمقدار مليمترين فقط. واستطاعت أن تحل هذا اللغز اللمسي بالكاد في 150 جزءًا من الألف من الثانية بلمس حافات القضيبين بأطراف الأشعار الطويلة البارزة التي تنبت من جانبي وجهها فقط. لم تكن حيلة الجرذة إيش عملا بسيطا من المنظور البشري، فأي شخص يحاول إنجاز مهمة أو حل مسألة مماثلة بوضع شاربه أو لحيته على الفتحة نفسها كان سيفشل فشلا مخزيا مثيرا للرثاء.

لكن إيش جرذة، وقاعدة كل شعرة من أشعار شاربيها تحتوي على كثافة عالية جدا من الأعضاء الحسية المحيطية المتخصصة المعروفة بالمستقبلات الميكانيكية التي تترجم الخصائص الرئيسية للمنبهات اللمسية إلى لغة يستطيع الدماغ أن يفهمها ألا وهي الكهرباء. تنتقل مثل تلك الإشارات الكهربائية في الجرذان كما في البشر بواسطة عدد وافر من الأعصاب المحيطية الموجودة في جميع أنحاء الجسم إلى تراكيب دماغية متعددة مترابطة فيما بينها فتتكون بذلك دائرة عصبية ضخمة تعرف بالجهاز الحسي الجسدي المسؤول عن ذخيرتنا المتسعة من الأحاسيس اللمسية. تسهم هذه الدائرة نفسها أيضا في نشوء معظم خبرتنا الإدراكية الشخصية، أي إحساسنا الخاص بذاتنا.

لكن لا تزال منذ زمن بعيد وإلى الآن الكيفية المضبوطة التي يترجم بها الدماغ هذه اللغة من النبضات الكهربائية إلى مثل تلك المدارك الحسية الدقيقة والمتنوعة لغزا عويصا يصعب فهمه، وواحدا من أبحاث الدماغ المقدسة المضنية التي تتطلب بحثا طويلا جاهدا. إن **حل (فك)**(١) هذا الكود العصبي هو بمثابة فتح الأبواب لفهم ماهية هويتنا، إذ تنبثق قدراتنا على التحدث والحب والكراهية وإدراك العالم من حولنا وكذلك ذكرياتنا وأحلامنا، وحتى تاريخ جنسنا البشري من تجميع حشد من الإشارات الكهربائية البالغة الصغر التي تنتشر عبر أدمغتنا تماما مثلما تكتسح عاصفة رعدية السماء في ليلة صيف.

خطوط مستقيمة على نحو خادع(**)

كانت الجرذة إيش تشارك دون أن تعلم في تجربة صممت لمواجهة هذا السؤال المحوري جدا. أما كونها قد قررت أن تستخدم شعر وجهها لإنجاز هذه المهمة، فذلك كان مجرد أمر صائب فقط. فعندما تكون الجرذان في حاجة فعلية إلى الفرار من القطط بالاندفاع عبر فتحةٍ حجمها غير محدد وواقعة في مكان ما في أحد جدران مكان مظلم غير مألوف، فإن أشعار شواربها تمنحها أفضل أمل للنجاح.

تترجم مستقبلات الجرز الميكانيكية أي انحراف ميكانيكي صغير جدا لأشعار الشوارب إلى سلاسل متتالية سريعة من التفريغات الكهربائية الصغيرة التي تعرف **بجهود الفعل الكهربائي**(٢) لتبلِّغ بالإشارة موضع المنبهات اللمسية وشدتها ومدتها. تنتقل هذه النبضات إلى الدماغ عبر الجهاز الثلاثي التوائم، وهو الشبكة العصبية التي تكون الجزء من الجهاز الحسي الجسدي المتخصص بنقل الإشارات اللمسية الواردة من الوجه ومعالجتها. لذلك فإن فهمنا للكيفية التي تحسب بها الجرذة إيش وغيرها من الجرذان بمنتهى السرعة واليسر قطر فتحة ما في مجرد جزء من الثانية مستخدمة فقط المعلومات الحسية التي تجمعها أشعار شواربها يرتكز على توضيح كيف تتأثر المجموعات الضخمة من العصبونات الموزعة عبر الجهاز الثلاثي التوائم لمعالجة تلك المعلومات الحسية الواردة.

يكشف البحث في هذه المسألة بالطبع عما هو أكثر بكثير من مجرد معرفة كيف تراوغ الجرذانُ القلقة القططَ الجائعة. لقد قام علماء الفزيولوجيا العصبية بالفعل منذ بداية سبعينات القرن العشرين بدراسة الجهاز الثلاثي التوائم في القوارض لمحاولة الإجابة عن الأسئلة الجوهرية المتعلقة بطبيعة الكود العصبي. إن العمل الذي نقوم به في مختبرنا والذي يقوم به آخرون في كثير من المختبرات في جميع أنحاء العالم من أجل حل شفرة هذا الكود يوضح فقط كيف تطورت الفرضيات العلمية بشكل مثير منذ ذلك الحين، وكذلك القدر الهائل الذي لا يزال علينا أن نتعلمه بعد.

لقد كانت النظرية التي يفضلها معظم علماء الأعصاب منذ ثلاثة عقود هي تلك النظرية المعروفة **بنموذج الخط الموسوم**(٣)، لأنها اقترحت أن المعلومات الحسية المتولدة في محيط الجسم تنتقل عبر مسارات عصبية متوازية على طول الطريق إلى القشرة المخية الجديدة للدماغ. ومن حيث الجوهر تنتقل الرسالة خلال **دائرة تغذية (تلقيم) تقدمية**(٤) تماما لتصل المستقبلات الحسية المحيطية (مثل أشعار الشوارب) بالتراكيب الأعلى رتبة في الدماغ.

لقد لاقى هذا النموذج تأييدا ذا شأن مهم خلال السبعينات من القرن العشرين، عندما كشف <T. وولسي> و<H. فاندرلوس> [عالما

SEEKING THE NEURAL CODE (*)
crack (١)
labeled-line model (٣)

Deceptively Straight Lines (**)
action potentials (٢)
strict feedforward circuit (٤)

التشريح العصبي في كلية الطب بجامعة جونز هوپكنز] النقاب عما بدا أنه خطوط الاتصال المادية داخل **القشرة المخية الحسية الجسدية الأولية** primary somatosensory cortex (S1) في دماغ الفأر. ويمكن تقسيم القشرة المخية في الفأر، كما في الثدييات الأخرى، إلى ست طبقات على أساس النسيج المميز لكل منها وتوزيع أنماط الخلايا العصبية بها، وترقيمها من I إلى VI من سطح الدماغ الخارجي الأقصى إلى الطبقة القشرية الداخلية. وباستخراج **كتل نسيجية تحوي القشرة المخية S1**(1) للفأر بأكملها، تمكن <وولسي> و<فاندرلوس> من تحضير شرائح رقيقة متماسة تغطي النطاق القشري المخي بأكمله، ثم صبغ تلك المقاطع النسيجية للكشف عن وجود أكسيداز السيتوكروم، وهو إنزيم ميتوكندري (مُتَقدِّري) مرتبط بالنشاط الخلوي المكثف.

ولقد أدهش <وولسي> و<فاندرلوس> ما اكتشفاه من احتواء الطبقة القشرية المخية IV على عناقيد متعددة متمايزة من العصبونات الغنية بأكسيداز السيتوكروم، ومنظمة تنظيما جيد التخطيط من الصفوف والأعمدة. وقد كونت آلاف من العصبونات المتراصة بإحكام كل **عنقود برميلي الشكل**(2)، وهذا حث الباحثين على تسمية العنقود الواحد بالبرميل والمطرس (المادة البينخلوية) بالحقل البرميلي. والأكثر إثارة للدهشة أن هذا الحقل البرميلي كان يحدد خريطة جميلة، ولو أنها محرفة بعض الشيء لخطم (مقدم فم وأنف) الفأر.

وسرعان ما وُجد نسق حقل برميلي مماثل في القشرة المخية للجرذ [*انظر المؤطر في الصفحة المقابلة*]، وكشف المزيد من الدراسات عن وجود مثل تلك الخرائط الطوبوغرافية في تراكيب تحت قشرية منها جذع الدماغ والمهاد حيث لقبَت العناقيد بالبريملات وأشباه البراميل. ولقد أظهر بالفعل باحثون لاحقون أن تكدسات من هذه الخرائط الطوبوغرافية في كل واحدة من المحطات (التوصيلات) تحت القشرية بالجهاز الثلاثي التوائم تصل المستقبلات الحسية المحيطية الموجودة في أشعار وجوه الجرذان بالقشرة المخية S1 على طول الطريق فيما بينهما.

ويستخدم علماء الفزيولوجيا العصبية الحسية مصطلح «الحقل الاستقبالي»(3) لتحديد مقدار الجلد الذي يتسبب عند تنبيهه في استجابة عصبونٍ بإنتاج جهود فعل كهربائي (كمونات عمل). وبناء عليه كان التنبؤ الأكثر أهمية لنموذج الخط الموسوم في حالة الجهاز الحسي الجسدي للقوارض أن الحقل الاستقبالي أو الحقل الحيزي للعصبون الفردي الواقع في أحد هذه البراميل الثلاثية التوائم سيقتصر على شعرة شارب رئيسية واحدة.

ولكن بحلول أواخر ثمانينات القرن العشرين بدأت نتائج مناقضة تتحدى هذه **الرؤية الخطية الصرفة**(4). فعلى سبيل المثال، سجل عالم الفزيولوجيا العصبية <M. أرمسترونگ-جيمس> [في جامعة لندن] حينذاك نشاط عصبونات فردية واقعة في عدة براميل قشرية مخية لجرذان مخدرة. ومع استطاعته تحديد شعرة الشارب الرئيسية لمعظم هذه العصبونات القشرية المخية، أثبت أيضا أن العصبون الفردي كان قادرا على الاستجابة لانحراف أشعار الشارب المحيطة بتلك الشعرة الرئيسية.

لقد اقترح <أرمسترونگ-جيمس> في استنتاج شبه ابتداعي (شبه هرطقي) بالنسبة إلى زمانه، أن الحقول الاستقبالية للعصبونات الفردية في القشرة المخية البرميلية للجرذ لم تقتصر على أشعار أولية فردية، بل اشتملت الحقول الحيزية بدلا من ذلك على بضع أشعار محيطة تدفع عند انحرافها العصبونات إلى إحداث استجابات حسية أضعف وأبطأ، ولكن مع ذلك يعتد بها. لقد كانت هذه الفكرة كافية لإحداث خلاف كبير في هذا المجال، ومع ذلك كانت مجرد بداية عقد انتقالي لفهم العلماء التكويد العصبي.

حوسبة مُوَزَّعة(**)

إن التقنية التي استخدمها <أرمسترونگ-جيمس> لتسجيل نشاط العصبونات الفردية (كل منها على حدة) في الجرذان المخدرة، كانت هي تقريبا الطريقة الرسمية المقررة في عام 1989، وذلك عندما قرر واحد منا (وهو نيكوليليس) مع <J. K. شاپين> [الذي يعمل حاليا في جامعة الولاية بنيويورك في المركز الطبي التابع لها في القلب التجاري للمدينة] أن يطبقا طريقة جديدة للإصغاء إلى النشاط الكهربائي لعدة عصبونات فردية في آن واحد.

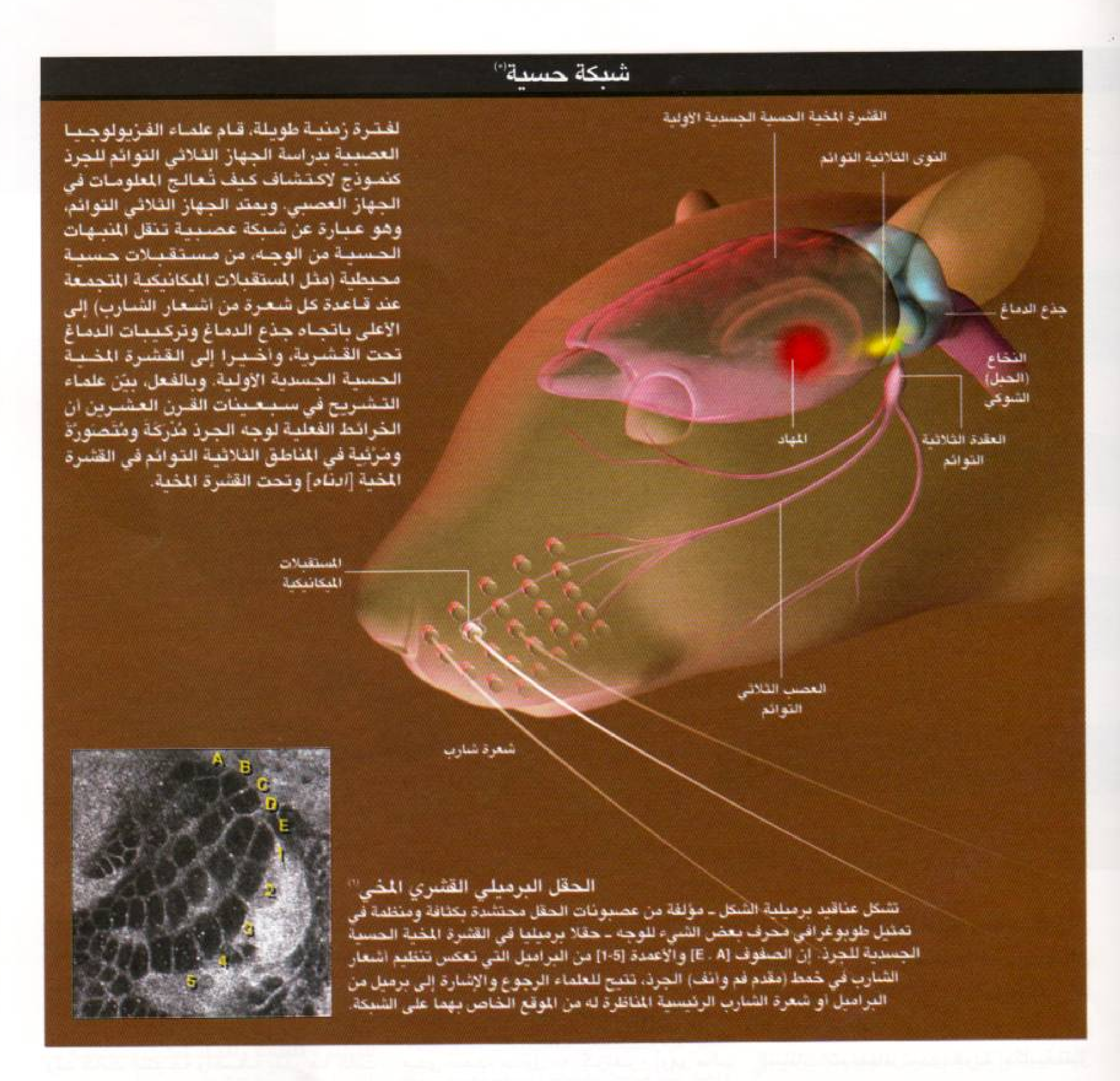
في البداية، ركزنا على العصبونات الواقعة في أشباه البراميل **بالنواة الجوانية (الإنسية) الخلفية البطنية** ventral posterior medial nucleus (VPM)، وهي تركيب يوجد في المهاد ويعد المصدر الرئيسي للاتصالات العصبية الصاعدة إلى **الحقول البرميلية**(5) في القشرة المخية الحسية الجسدية الأولية. أظهرت دراساتنا الأولى أن عصبونات النواة VPM أظهرت حقولا استقبالية واسعة جدا لأشعار شوارب متعددة. وعلى غرار ما وجده <أرمسترونگ-جيمس> في القشرة المخية، نتجت الاستجابات الأقوى والأسرع لعصبونات VPM من انحراف شعرة الشارب الرئيسية لكل عصبون منها محددة مركز حقله

نظرة إجمالية/ كود منبثق(*)

- **إن العواصف من النبضات الكهربائية التي تكتسح الجهاز العصبي المركزي، تُتَرجَم بطريقة أو بأخرى إلى أفكار وانفعالات وأحاسيس. وقد قضى علماء الأعصاب عقودا من الزمان في محاولة حل شفرة هذه اللغة العصبية.**
- **لقد تصورت الفرضيات المبكرة بشأن الإدراك الحسي أن الإشارات تنتقل انتقالا خطيا صرفا على طول طرق عصبية غير مترابطة (منفصلة) فيما بين مستقبلات المنبهات ومراكز المعالجة العليا في الدماغ.**
- **لقد كشفت مراقبة مجموعات كبيرة من العصبونات في المسارات الحسية عن حقيقة أخرى بديلة، وهي أن المعلومات تُشَفَّر في نُسُق الأنشطة الزمانية المكانية للمجموعات العصبية بأكملها.**

(*) Overview/ An Emerging Code
(**) Distributed Computing
(1) somatosensory cortex
(2) barrel shaped cluster
(3) receptive field
(4) neat linear view
(5) barrel fields

شبكة حسية(*)



الحقل البرميلي القشري المخي(1)

تشكل عناقيد برميلية الشكل - مؤلفة من عصبونات الحقل محتشدة بكثافة ومنظمة في تمثيل طوبوغرافي محرف بعض الشيء للوجه - حقلا برميليا في القشرة المخية الحسية الجسدية للجرذ. إن الصفوف [A، E] والأعمدة [1-5] من البراميل التي تعكس تنظيم أشعار الشارب في خطم (مقدم فم وأنف) الجرذ، تتيح للعلماء الرجوع والإشارة إلى برميل من البراميل أو شعرة الشارب الرئيسية المناظرة له من الموقع الخاص بهما على الشبكة.

الاستقبالي، في حين انطلقت استجابات أضعف وأبطأ من تنبيه الأشعار المحيطة.

في الحقيقة، ازداد حجم الحقول الاستقبالية للعصبونات VPM الفردية ازديادا ملحوظا مع تناقص مستوى تخدير الجرذان حتى إفاقتها تماما في النهاية، حيث إنها شملت أحيانا معظم الأشعار الوجهية على الجانب نفسه من وجه الجرذ. وإضافة إلى ذلك، لما كانت العصبونات VPM تستجيب لتنبيه الأشعار الوجهية المختلفة بعد فترات كمون أو تأخير مختلفة (وهي فترات فاصلة بين التنبيه والاستجابة)، فإن الحقل الحيزي للحقل الاستقبالي لكل عصبون تزحزح وفقا للزمن التالي للمنبه. وبتعبير آخر، كنا لا نستطيع في الواقع أن نحدد مركز الحقل الاستقبالي لعصبون معين وحدوده إلا إذا عيَّنا لحظة زمنية محددة.

إن هذا المظهر الزماني المكاني الديناميكي لاستجابات العصبونات قد أتاح الفرصة أيضا للخلايا أن تعيد تنظيم ردود أفعالها فورا بعد أي تغير في تدفق المعلومات اللمسية من محيط الجسم. فعلى سبيل المثال، عندما قمنا بمجرد تخدير رقع صغيرة من جلد وجه الجرذ تمكنا من مشاهدة إعادة تنظيم تامة للحقول الاستقبالية للعصبونات VPM في غضون بضع ثوانٍ لتتلاءم مع النسق الجديد للمعلومات اللمسية الواردة.

وقد تابعنا هذه النتائج وأعقبناها بتجارب أكثر تحدٍّ من الناحية التقنية، تتضمن مراقبة نشاط عينات أكبر من العصبونات الفردية في محطات (توصيلات) متعددة من جهاز الجرذ الثلاثي التوائم، تقع في جذع الدماغ والمهاد والقشرة المخية. وقد منحتنا تسجيلاتنا المتزامنة المتعددة المواقع والمتعددة المساري الكهربائية عينات لعصبونات فردية يصل عددها إلى 48 عصبونا لكل حيوان في آن واحد موزعة عبر عدد من التراكيب العصبية

(*) A SENSORY NETWORK

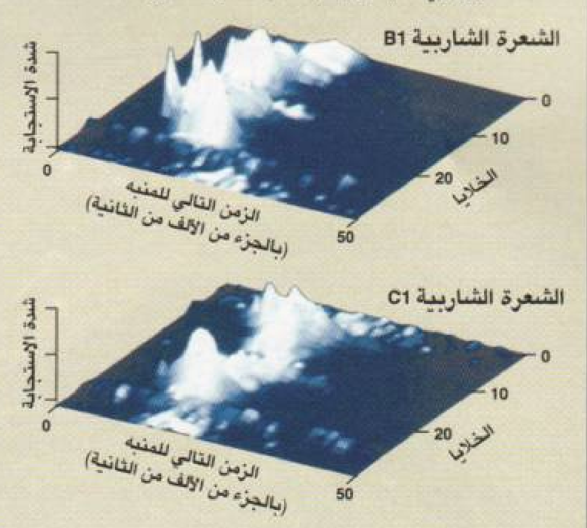
(1) cortical barrel field

تقارب الإشارات وتلاقيها(*)

إن تنبيه أشعار الشوارب الفردية على وجه الجرذ يكشف عن شبكة معقدة من التفاعلات الموزعة(1) عبر مجموعات من العصبونات وعلى مر الزمن. وهكذا يتم تكويد المعلومات الحسية الواردة من شعرة شارب واحدة في نسق الاستجابات الزمانية المكانية بواسطة عدد كبير من الخلايا الموجودة في كل مكان بالجهاز الثلاثي التوائم للحيوان.

استجابات المجموعة العصبونية

بدلا من الاستجابة لشعرة شارب رئيسية واحدة فقط، يتفاعل 25 عصبونا في أعمدة برميلية قشرية مخية مختلفة مع تنبيه أشعار شاربية مختلفة بأنماط استجابة متمايزة [أدناه]. يصور كل صف النشاط الكهربائي لخلية فردية بعد تنبيه شعرة الشارب.



استجابات المجموعة الخلوية

يُحدث تنبيهُ شعرةٍ شارب فردية موجات من النشاط الكهربائي في عناقيد خلوية برميلية الشكل في جذع الدماغ (SPv و PrV) والمهاد (VPM) والقشرة المخية (S1).

القشرة المخية الحسية الجسدية الأولية (S1)

النواة الجوّانية (الإنسية) الخلفية البطنية (VPM)

النواة الثلاثية التوائم النخاعية (SPv)

النواة الثلاثية التوائم الرئيسية (PrV)

مجموعة بريميلية فردية

الخلايا

0

50

الزمن التالي للمنبه
(بالجزء من الألف من الثانية)

المختلفة يصل إلى خمسة.

لقد كانت هذه هي المرة الأولى التي يجري فيها على الإطلاق أخذ عينات حيزية على نحو شامل من المسار الحسي للحيوان. وقد كانت النتيجة واضحة بقدر ما كانت مثيرة للذهول: فانحرافات شعرة الشارب الفردية في الحيوانات اليقظة أطلقت موجات معقدة من النشاط الكهربائي، انتشرت عبر عدة عناقيد برميلية الشكل داخل كل تركيب من التراكيب العصبية الواقعة على طول الجهاز الثلاثي التوائم (*انظر المؤطر في هذه الصفحة*). لم يكن ما كنا نشاهده متناغما على الإطلاق مع انتقال المعلومات على طول خطوط موسومة ساكنة منعزلة عن بعضها؛ وإنما أوحت لنا نتائجنا بدلا من ذلك بالنموذج المعروف بالتمثيل الموزع أو **بالكود العصبي المجموعي**(2)، حيث لا يكون دماغ الجرذ قادرا على استخلاص معلومات حسية دقيقة وذات معنى عن البيئة المحيطة بالحيوان مباشرة إلا بضم أنشطة مجموعات كبيرة من العصبونات الفردية.

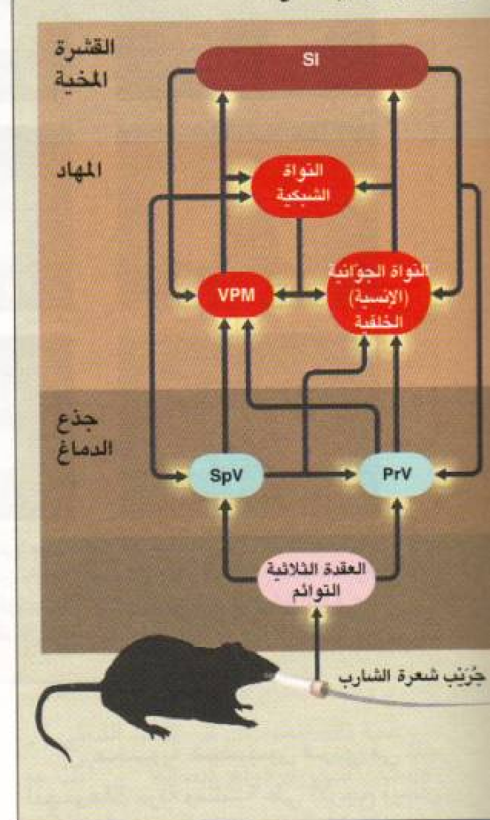
ولاختبار هذه المشاهدة (الملاحظة) إلى مدى أبعد، حاول <A. گزنفر> [وهو طالب دراسات عليا في مختبرنا] في منتصف تسعينات القرن العشرين، «قراءة» الرسائل المكودة التي ترسلها مجموعات العصبونات الثلاثية التوائم في الجرذ. وقد فعل ذلك بتغذية سلسلة من لوغاريتمات تمييز النسق الصنعية (المعروفة **بالشبكات العصبية الصنعية** (artificial neural networks (ANNs)) بأنشطة الكثير من العصبونات القشرية المخية التي تم الحصول عليها أثناء التنبيه الميكانيكي للعديد من أشعار الشارب الفردية. في البداية قام <گزنفر> بتدريب واحد من اللوغاريتمات على استخدام نسق الإثارة الزمانية المكانية لمجموعات كاملة من العصبونات القشرية المخية لتصنيف مواقع منبهات شعرة الشارب الفردية؛ ثم بمجرد أن بلغت الشبكات ANNs مستوى عاليا من الدقة، قام بإدخال مجموعة جديدة من البيانات، ثم بقياس مدى جودة إمكانية تنبؤ اللوغاريتمات بموقع شعرة الشارب المنبهة. وعندما تمت تغذية الشبكات ANNs بأنشطة العصبونات الفردية منعزلة كانت دقة تنبؤاتها منخفضة للغاية. ولكن عندما تمت تغذيتها بالاستجابات المجتمعة لمجموعات العصبونات الفردية، تمكنت اللوغاريتمات بسهولة من التنبؤ بالموقع الصحيح لمنبه شعرة الشارب من محاولة واحدة.

وفي الوقت نفسه، كانت مختبرات أخرى تحصل باستخدامها مجموعةً متنوعة من الطرائق على بيانات تؤيد

(*) CONVERGING SIGNALS
(1) reactions distributed
(2) population neural code



لن يتمكن الدماغ من استخلاص معلومات ذات مغزى إلا بضم أنشطة المجموعات العصبونية.



مسارات الإشارات الثلاثية التوائم

يتم تعديل الإشارات اللمسية الواردة من الشعرة الشاربية بواسطة إشارات عصبية تنتقل على طول روابط جانبية ونازلة بين تراكيب الدماغ.

نتائجنا الكهربائية الفزيولوجية. ولقد واصل <گزنفر> مع <D. كروبا> [الحاصل على زمالة ما بعد الدكتوراه] جهودهما ليثبتا أول مرة أن إحصار النشاط العصبوني في القشرة المخية S1 يؤثر في استجابات العصبونات VPM في المهاد، وهذا يوحي بأن إشارات **الارتجاع**[1] النازلة من القشرة المخية إلى النواة VPM يمكن أن تؤدي أيضا دورا مهما في تعديل المعلومات الصاعدة من جذع الدماغ. وقد أدت هذه النتائج مع مثيلاتها إلى اقتراح مجموعتنا البحثية أن الاستجابات اللمسية للأشعار الشواربية المتعددة ذات الديناميكية العالية المشاهدة في كلٍ من العصبونات S1 و VPM كان يحددها عدد وافر من الإشارات المعدلة الصاعدة والهابطة والمتنقلة جانبيا والتي تتقارب للالتقاء عند كل واحد من هذه العصبونات في لحظة زمنية مختلفة.

لقد كانت نتائجنا بالفعل بعيدة كل البعد عن **نظرية الخط الموسوم ذي التغذية التقدمية المتزمتة**[2]. ولكن لا يزال الكثير من التنبؤات المشتقة من نموذجنا التقاربي الالتقائي اللاتزامني يتطلب اختبارات تجريبية مكثفة، وهذا قادنا إلى رحلة بحثية أخرى لعقد من الزمان نقوم فيها بتنبيه أشعار شوارب الجرذان بمجموعة من الوسائل لم يسبق تجربتها قط.

القرائن تؤخذ بعين الاعتبار(*)

في عام 1998، قامت <E. فانسيلو> [وهي طالبة دراسات عليا في مختبرنا] بتصميم تقنية بارعة لقياس كيفية استجابة العصبونات S1 و VPM لمنبهات متشابهة في ظروف مختلفة في الجرذان الحرة الحركة. لقد تمكنت <فانسيلو> ـ عن طريق زرع مسرى كهربائي على هيئة قيد بالغ الصغر حول العصب تحت الحجاج، وهو فرع العصب الثلاثي التوائم الوارد من الأشعار الوجهية ـ من توصيل متتاليات دقيقة من النبضات الكهربائية إلى العصب في الوقت نفسه الذي تقاس فيه استجابات العصبونات S1 و VPM. وبعد ذلك قامت بقياس كيف تغيرت تلك الاستجابات العصبونية أثناء مختلف السلوكيات التي تظهر على الجرذان وهي تتجول تجوالها الروتيني اليومي. وكشفت هذه التجارب أنه عندما تحرك الجرذان أشعار شواربها تختلف جدا الطريقة التي تستجيب بها عصبوناتها القشرية المخية والمهادية للمنبهات اللمسية عن طريقة استجابتها عندما تكون هذه الحيوانات نفسها يقظة أو مخدرة.

وفي الجرذان الساكنة، كانت هذه العصبونات تستجيب للتنبيه على نحو تقليدي بمتتالية قصيرة من جهود الفعل الكهربائي (كمونات العمل)، تعقبها فترة زمنية طويلة الأمد يُثبَّط فيها إطلاقها للدُّفْعات (الدفقات) العصبية بفعل تغيرات تحدث في أغشيتها الخلوية. ولكن <فانسيلو> وجدت أنه عندما تحدث الجرذان تحركا من أي نوع لأشعار شواربها، تطلق عصبوناتها القشرية المخية والمهادية الدفعات العصبية على نحو أكثر اطّرادا، استجابة لنبضة عصبية كهربائية فردية دون أي فترات تثبيط على الإطلاق.

لقد حثتها هذه الملاحظة على محاولة توصيل متتاليات من نبضتين كهربائيتين إلى العصب بدلا من متتاليات من نبضات فردية، وكانت النتيجة مذهلة. عندما كانت الجرذان يقظة ولكنها ساكنة ولا تحرك أشعار شواربها، كانت عصبوناتها القشرية المخية والمهادية تستطيع الاستجابة فقط للمنبه الأول من زوج المنبهات، في حين كان الآخر يُحْجَب بالتثبيط التالي للإثارة. ولكن عندما كانت الجرذان تحرك أشعار شواربها بنشاط، تمكنت عصبوناتها S1 و VPM من الاستجابة بشكل جيد جدا لكل من النبضتين الكهربائيتين، حتى عندما لم يكن يفصل بينهما إلا 25 ميكروثانية (25 جزءًا من المليون من الثانية). إن الانهماك في سلوك تحريك أشعار الشوارب بخفة وسرعة قد غيَّر بوضوح خواص العصبونات، وهذا أتاح للقشرة المخية والمهاد تمثيل متتالية من المنبهات اللمسية تمثيلا صحيحا.

وفي أثناء هذه الفترة الزمنية، بدأ <كروبا> بالنجاح في تدريب الجرذان على أداء المهمة نفسها التي سوف تبرع في أدائها الجرذة إيش فيما بعد في غضون بضع سنوات. لقد قدمت هذه الطريقة وسيلة جديدة لاختبار فيما إذا كانت استجابات العصبونات تختلف أيضا، عندما يصبح لمهمة التمييز اللمسي النشيط للحيوان مغزى ومتطلبات أكثر، أي أكثر شبها بالحياة الحقيقية، مثل استخدامه شعرَ وجهه ليقدر

(*) Context Counts

(1) feedback، أو الاسترجاع؛ التغذية الراجعة؛ التلقيم المرتد.

(2) strict feedforward, labeled-line theory

قراءة عقل جرذ(*)

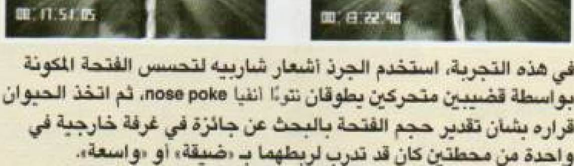
إن القدرة على التنبؤ بسلوك الجرذ تثبت أن لوغاريتم تعرّف النسق يستطيع أن يحل شفرة المعلومات الحسية المكودة في نشاط الحيوان العصبي. فعندما تُغذّى (تلقم) شبكة عصبية صنعية (ANN) بتسجيلات من أدمغة الجرذان المشتركة في التجربة المبينة *في اليسار*، فإنها يمكن أن تحدد فيما إذا كان الحيوان سيميز اتساع الفتحة تمييزا صحيحا أو لا. وكما هو متوقع، كان أداء الشبكة ANN *(الرسم البياني)* عند مستوى الصدفة قبل اقتحام الجرذان لحزمة الضوء عند مدخل الحجرة التجريبية [0 ثانية]. وبعد أن بدأت الحيوانات تستكشف الفتحة بواسطة أشعار شواربها [0.1 إلى 0.25 ثانية]، ارتفعت دقة تنبؤ اللوغاريتم بسرعة.

فتحة واسعة — فتحة ضيقة

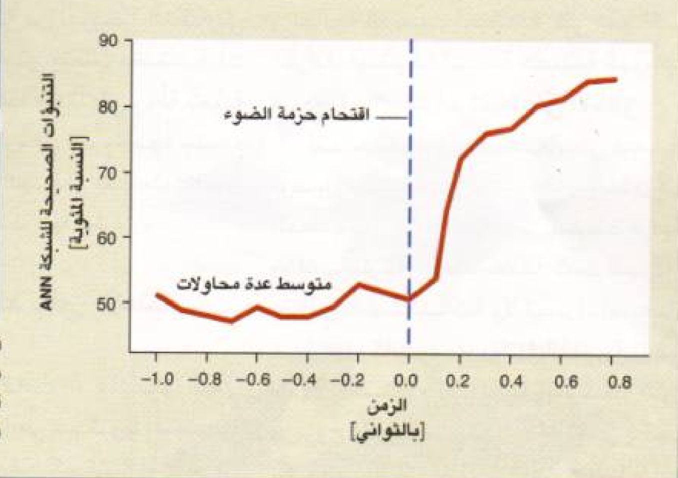








في هذه التجربة، استخدم الجرذ أشعار شاربيه لتحسس الفتحة المكونة بواسطة قضيبين متحركين بطوقان نتوءًا أنفيا nose poke، ثم اتخذ الحيوان قراره بشأن تقدير حجم الفتحة بالبحث عن جائزة في غرفة خارجية في واحدة من محطتين كان قد تدرب لربطهما بـ «ضيقة» أو «واسعة».



قطر ثقب دائم التغير.

لقد أكدت نتائج «كروبا» ملاحظات «فانسيلو» السابقة ووسعت مداها؛ فعندما استخدمت الحيوانات أشعار شواربها استخداما نشيطا لتقدير قطر الفتحة، أظهرت نسبة مئوية كبيرة من عصبوناتها S1 و VPM استجابات قوية طويلة الأمد بلا تثبيط. إضافة إلى ذلك، بدأت عصبونات متعددة في القشرة المخية تغير بشكل واضح معدلات إطلاقها للدفعات العصبية قبل أن تلمس أشعار شوارب الجرذان حافات القضبان بكثير، وهذا يوحي بأن حالة الجرذان السلوكية كانت تؤثر بالفعل في خواص العصبونات مُعِدَّة إياها للمهمة العصبية الحاسمة التي أمامها.

لقد قام «كروبا» بتغذية شبكة عصبية صنعية بأنماط الإثارة الزمانية المكانية لمجموعات العصبونات التي تم تسجيلها أثناء تنفيذ هذه المهمة، وذلك كبرهان نهائي يثبت أن هذه التأثيرات كانت أيضا جزءا من المعلومات المكودة للتغذية التقدمية والارتجاعية في داخل الجهاز الحسي للحيوان. لقد تمكنت الشبكة ANN بفضل اتحاد أنشطة نحو 50 عصبونا قشريا مخيا من التنبؤ بدقة بالغة بقدرة الجرذان على تحديد اتساع الفتحة أو ضيقها تحديدا صحيحا في أي تجربة.

شبكة ديناميكية(**)

إن قدرتنا على التنبؤ بسلوك الحيوان من أنماط الاستثارة العصبية وحدها قد أوحت لنا بأننا على المسار الصحيح نحو اكتشاف ترجمة للغة الجهاز العصبي. لقد كان جليا تماما أن دماغ الثدييات يعتمد على الأرجح على مجموعات عصبية واسعة الانتشار، تكونها على نحو ديناميكي خلايا متوافقة تماما، لتهب الحيوانات قدراتها الإدراكية الشديدة الحساسية بدلا من الاعتماد كليةً على نشاط عصبونات فردية متخصصة أو حتى أعمدة خطية من وحدات برميلية الشكل.

إن عضوية عصبون فردي في تلك المجموعات مرنة وسلسة على الأرجح ويمكن أن تتغير من لحظة إلى أخرى، كما يستطيع عصبون واحد أن يشترك في الكثير من هذه المجموعات في آن واحد. وتستطيع كذلك الخواص الاستثارية للخلايا الفردية أن تتغير باستمرار نتيجة لحالة المحيط الحسي والتجارب الإدراكية السابقة للحيوان وديناميكية دماغه الداخلية، سواء كانت تتخير العينات من البيئة المحيطة به إيجابيا أو سلبيا، وتوقعات الحيوان للمستقبل.

ونحن البشر نشترك مع الجرذان في الملامح الأساسية نفسها لبنية الدماغ وفزيولوجيته وبيولوجية خلاياه؛ ونجتاز مثلها محيطنا الحسي بمساعدة شبكات عصبية معقدة، تُولِّد تصورات متعددة عن العالم المحيط بنا وتشكل الإدراك من لحظة إلى أخرى بمقياس دقيق وفقا للتغير في الانتباه والدوافع والحالة المزاجية وتأخذ في الحسبان تجاربنا الحسية السابقة.

(*) READING THE MIND OF A RAT

(**) Dynamic Network



ولكن كيف يمكن أن تنبثق جميع هذه النواتج الثانوية من التفريغات الكهربائية البالغة الصغر لبلايين العصبونات؟ كيف يمكن أن تجعلنا أدمغتنا نتصرف كلنا بمثل هذا التشابه في بعض الأوقات، ومع ذلك تمنح كل واحد منا وجودا فريدا يتعذر نسخه. وسوف يتفق معظم علماء الأعصاب على أن التفاصيل المعقدة لهذا اللغز سيظل يكتنفها غموض عميق لبعض الوقت.

ومع ذلك، أتاح لنا بالفعل عمل مجموعتنا البحثية - الرامي إلى حل شفرة الكود العصبي من وضع فهمنا السطحي لهذه اللغة قيد الاستعمال العملي - قراءة أنماط الاستثارة العصبية من القشرة المخية الحركية للفرد واستخدام لوغاريتمات الحاسوب لترجمة تلك المعلومات في الزمن الفعلي إلى تعليمات لتحريك **ذراع إنسالة**[1]. إن أملنا هو أننا يوما ما، قريبا، سنبرع أيضا في تركيب واستعمال الكلمات والعبارات بالقدر الكافي لمخاطبة الدماغ. وسوف يتيح لنا ذلك على سبيل المثال صنع ذراع بشرية صنعية بديلة مُحَمَّلة بأجهزة إحساس لإرسال **ارتجاع لمسي**[2] إلى القشرة المخية الحسية الجسدية للشخص الذي يستعملها.

ومع أن حل شفرة الكود العصبي مازال بعيد المنال، فبإمكاننا حاليا فهم بضعة مقاطع لفظية واستخدامها، علما بأن ذلك لم يكن أمرا واقعا منذ 10 سنوات فقط. إن واحدا من الأسباب المهمة التي تمكننا من استخدام هذه اللغة بالفعل منذ الآن هو تكيفها المتأصل فيها والذي ينشأ بدوره عن خواص الاتصال المتشابكة خلال المجموعات العصبية. وحتى لو سقطت بضع كلمات، تستطيع الرسالة العبور والوصول بالطريقة نفسها تقريبا التي تستطيع بها شبكةٌ تقانةٍ التعويضَ السريعَ عن فقدان بضع عقد.

لقد كان لتطور التجهيزات والمعدات

كيف تستطيع أدمغتنا أن تمنح كل واحد منا هذا الوجود الفريد الذي يتعذر نسخه؟

التجريبية الأساسية تأثير حاسم في التقدم في هذا المجال. فقد كانت جهود علماء الأعصاب في العقود الماضية مقصورة على تسجيل نشاط العصبونات المنعزلة باستخدام مسارٍ كهربائية معدنية صلبة كانت تُتلف نسيجَ الدماغ إذا ما حُرِّكَت بعنف أكثر من اللازم؛ ومن ثم كان الباحثون مجبرين على دراسة نشاط الدماغ، في حين أن الحيوان مخدر أو على الأقل تم تسكينه وتقييده. أما الآن، وكما أثبتت التجربة الخاصة بمجموعتنا البحثية، فبمجرد أن تمكن العلماء من الإصغاء لعشرات العصبونات في تراكيب دماغية متعددة في آن واحد، أصبحت الرؤية الجديدة للنشاط العصبي، على أساس مجموعي، ممكنة. كما جعلت مواد المساري الكهربائية المرنة الجديدة الغرسَ الدائم لأجهزة تسجيل في الدماغ أمرا ممكنا، وهذا أتاح لنا اليوم الإصغاء إلى نشاط ما يقرب من 500 عصبون فردي لفترات زمنية طويلة في الحيوان اليقظ المنشغل بممارسة سلوكيات طبيعية.

ولا عجب أن مراقبة العصبونات كل على حدة قد تكون هي التي ساعدت على تبني وجهة النظر الخطية المركزية العصبون للاتصال العصبي. فتلك الطرائق البدائية القديمة يمكن تشبيهها بالاستماع لصوت واحد فقط أثناء تأدية مسرحية موسيقية مغناة (أوبرا). فمهما كان المغني المنفرد موهوبا، فسيجد المرء صعوبة في متابعة المسرحية. ولكن عندما تتجمع العصبونات في مجموعات عصبية كبيرة موزعة على نطاق واسع، فستمنحنا **التآثرات الجماعية**[3] لهذه العصبونات أوصافا بالغة الدقة عن البيئة المحيطة بنا. وهكذا كلما فر جرذ من قطٍّ مهاجم، كانت نجاته على الأرجح بفضل سمفونية النبضات الكهربائية التي تُعْزَف في رأسه. ■

(١) robot arm [انظر: "Controllining Robots with the Mind;" by Miguel A. L. Nicolelis - John K. Chapini; Scientific American, October 2002].
(٢) tactile feedback
(٣) collective interactions

المؤلفان

Miguel A. L. Nicolelis - Sidarta Ribeiro

لقد قاما باستقصاء التكويد العصبي معا عندما كان «ريبيرو» زميلا لما بعد الدكتوراه في مختبر «نيكوليليس» بجامعة ديوك. قام «نيكوليليس» [بصفته المدير المساعد لمركز ديوك للهندسة العصبية] و«W. A. دين» [أستاذة علم الأعصاب] بابتداع استخدام أغراس دماغية متعددة المساري الكهربائية لاستراق السمع لأنشطة أعداد كبيرة من العصبونات وتطوير طرائق حسابية لترجمة النتائج وتطبيقها. ويشترك كل من «نيكوليليس» و«ريبيرو» في ولعهما بنشر فوائد ووسائل علم الأعصاب المتقدم والمتطور. فهما مؤسسان مساعدان لمعهد ناتال العالمي لعلم الأعصاب في شمال شرق البرازيل. و«ريبيرو» هو المدير العلمي لمركز سيزار تيمولاريا للأبحاث والتعليم، وهو قسم بالمعهد يخطط أساسا لتجميع مؤسسة تدريب وأبحاث من الدرجة العالمية في علم الأعصاب، ومؤسسات للتعليم المدرسي والصحة العقلية والرياضة، ومتحف للعلوم، ومحمية طبيعية، لتشجيع التنمية الاجتماعية والاقتصادية في هذه المنطقة النائية من البرازيل.

مراجع للاستزادة

Brain-Machine Interfaces to Restore Motor Function and Probe Neural Circuits. Miguel A. L. Nicolelis in *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 4, pages 417–422; May 2003.

Layer-Specific Somatosensory Cortical Activation during Active Tactile Discrimination. David J. Krupa et al. in *Science*, Vol. 304, pages 1989–1992; June 25, 2004.

Global Forebrain Dynamics Predict Rat Behavioral States and Their Transitions. Damien Gervasoni, Shih-Chieh Lin, Sidarta Ribeiro, Ernesto S. Soares, Janaina Pantoja and Miguel A. L. Nicolelis in *Journal of Neuroscience*, Vol. 24, No. 49, pages 11137–11147; December 8, 2004.

International Institute of Neuroscience of Natal: **www.natalneuroscience.com**

Scientific American, December 2006

استخدام الهدروجين كوقود للسيارات(*)

يعمل الباحثون اليوم على إيجاد سبل تتيح للسيارات التي تعمل بخلايا الوقود التزود بالهدروجين الذي تحتاج إليه لقطع مسافات طويلة.

<S. ساتيابال> ـ <J. پيتروڤيتش> ـ <G. توماس>



يصعب تخزين كمية كافية من غاز الهدروجين بالسيارات في خزان بحجم خزان الكازولين.

(*) GASSING WITH HAYDROGEN

أدهش «J. شارل» العالَم حين حلّق في سماء باريس على ارتفاع 3000 قدم فوق سطح الأرض، في يوم من أواخر أيام صيف سنة 1783، في منطاد صنعه من قماش حريري مغلف بطبقة من المطاط ومعبأ بغاز الهدروجين، الأخف من الهواء. وقد عمد القرويون الذين أصابهم الذعر من هذا التحليق إلى تحطيم المنطاد عند عودته إلى الأرض. لكن «شارل» اختط بعمله هذا نهجا لا يزال الباحثون، بعد مرور قرنين من الزمن، يعملون في إطاره. يتجلى هذا النهج في استخدام طاقة غاز الهدروجين، العنصر الأخف في الطبيعة، كوقود لوسائل النقل.

يعد إحراق الهدروجين أو استخدامه في **خلايا الوقود** fuel cells التي تشغّل محركات سيارات المستقبل، خيارا مغريا لأسباب عديدة. فهو يحضّر محليا من مجموعة كبيرة من خامات كيميائية ومن مصادر طاقة أخرى (مثل مصادر الطاقة المتجددة ومن مصادر نووية وكذلك من مصادر **الوقود الأحفوري** fossil fuel) وهو غاز نظيف وغير سام يمكن أن يشكّل مصدر طاقة للآلات المتعددة الأنواع، وعند احتراقه لا يطلق أي ملوثات بيئية، مثل غاز ثنائي أكسيد الكربون المكوّن الفعّال في غازات الدفيئة. وحين حمله في خلايا الوقود التي تشبه في تركيبها البطاريات، يؤمن الهدروجين، عند احتراقه بالأكسجين، الطاقة اللازمة لتشغيل محركات السيارات التي تعمل بالكهرباء، ناشرا الحرارة ومخلفا الماء فقط كمنتج ثانوي [انظر: «*نحو سيارات تعمل بالهدروجين*»، **العلوم** ، العدد 9 (2005)، ص 16]. وقد يتعدى مردود وفعالية السيارات التي تعمل بخلايا الوقود ضعفي مردود السيارات العاملة حاليًا؛ كما قد يؤدي استخدام الهدروجين إلى تقديم المساعدة والعون لحل مسائل وأمور اجتماعية وبيئية مثل تلوث الهواء، وما يسببه من مخاطر على الصحة العامة وتغيرات المناخ العالمي والاعتماد على النفط المستورد.

ومع جميع هذه التوقّعات الإيجابية فإن عقبات أساسية تعترض استخدام غاز الهدروجين كوقود للسيارات. إن الطاقة التي تحملها كمية ما منه (1 كغ مثلا) تزيد على ثلاثة أضعاف الطاقة التي تحملها الكمية ذاتها من الگازولين؛ لكن يتعذر علينا اليوم، بل يستحيل، حمل غاز الهدروجين وتخزينه في السيارات بالسهولة والإحكام اللذين يُحمل بهما الگازولين. ويعد أمر هذا الحمل والتخزين من أشد الأمور التقنية تعقيدا وأكثرها مدعاة للإثارة والتحدّي، إذ كيف يمكن أن نحمّل السيارة، بصورة آمنة ومحكمة، ما يكفي من غاز الهدروجين لتحقيق مستوى الأداء ولقطع المسافة المطلوبين. وليست مهمة الباحثين في هذا المجال يسيرة، إذ إن عليهم إيجاد الحلول **المُثلى** goldilocks التي تؤمن

نظرة إجمالية/ تخزين الهدروجين (*)

- **من كُبرى العقبات التي تعترض تزويد سيارات المستقبل التي تعمل بخلايا الوقود، تحميلها كميةً من غاز الهدروجين تكفي لسيرها المسافة الدنيا التي يطلبها المستهلكون والمقدّرة بنحو 300 ميل.**
- **غالبا ما يُخزَّن الهدروجين في درجات الحرارة الاعتيادية على شكل غاز شديد الانضغاط في خزانات تتحمل هذا الضغط العالي، إلا أنها لا تتسع لحمل ما يكفي منه؛ وبالمقابل فإن نظم تخزين الهدروجين السائل التي تحتاج إلى درجات حرارة شديدة الانخفاض، تعاني بدورها عقبات كبيرة.**
- **يجري حاليا تطوير تقانات تخزين بديلة، تحقق للهدروجين كثافات مرتفعة؛ إلا أن أيا منها لم يثبت جدارته حتى الآن في التغلب على العقبات القائمة.**

ضبط عمليات التخزين وأمانها، وتأمين الوسيلة التي تتيح حمل ما يكفي من الهدروجين لقطع المسافة الدنيا المقبولة في يومنا وهي 300 ميل في خزان وقود لا يشكل حجمه مصدر إزعاج لركاب السيارة ولمكان الأمتعة والحقائب فيها؛ وعليهم كذلك إيجاد الوسائل التي تتيح تحرر الوقود الغازي في درجات الحرارة الاعتيادية وانطلاقه بمعدلات تدفق تحقق للسيارات التسارع المطلوب على الطرق السريعة؛ كما تتيح إمكانية إعادة ملء الخزان في دقائق قليلة وبأسعار معقولة. علما بأن تقنيات تخزين وقود الهدروجين الغازي ما زالت حتى يومنا هذا قاصرة وبعيدة جدا عن تحقيق هذه الأهداف.

لذلك يبذل الباحثون العاملون في صناعة السيارات، في كافة القطاعات الحكومية والاكاديمية ومراكز الأبحاث، في جميع أرجاء العالم جهودا كبيرة لتدارك هذا القصور والتغلب عليه. كما أن الاتفاقية التي وقعتها الوكالة الدولية للطاقة سنة 1977 حول استخدام الهدروجين تضم اليوم أكبر مجموعة دولية تعالج قضايا تخزين الهدروجين، حيث يعمل فيها أكثر من 35 باحثا في ثلاثة عشر بلدا؛ كما أن الشراكة العالمية لاقتصاد الهدروجين التي تشكلت في سنة 2003، تضم اليوم 17 حكومة التزمت كلها بدعم تقانات استخدام الهدروجين وخلايا الوقود. كما وضعت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية في سنة 2005 مشروعا وطنيا لتخزين الهدروجين يشارك فيه ثلاثة مراكز أبحاث متميزة والعديد من الصناعات والجامعات و**مختبرات** الأبحاث الفدرالية في مجالات أبحاث أساسية وتطبيقية. وقد قدّم هذا المشروع في عام 2006 أكثر من 30 مليون دولار لتمويل نحو 80 مشروع بحث.

عوائق البنى التحتية (**)

يعد الحجم الكبير للمواضيع الذي تطرحه مسألة خلايا الوقود الهدروجيني أحد العوائق التي تحول دون تبنّي هذه الخلايا على نطاق واسع في السيارات والشاحنات. فالناقلات العاملة في الولايات المتحدة وحدها تستهلك نحو 383 مليون گالون من الگازولين في اليوم (أي ما مقداره 140 بليون گالون في السنة)، وهو ما يشكل نحو ثلثي الاستهلاك القومي من النفط، الذي تستورد أكثر من نصفه من بلاد تقع في ما وراء البحار. لذلك تبدو الحاجة واضحة إلى استثمار مبالغ طائلة لتحويل صناعة السيارات في الولايات المتحدة إلى صناعة سيارات تعمل بخلايا الوقود، وكذلك لتحويل شبكة مصافي تكرير النفط ومحطات توزيع مشتقاته المنتشرة في جميع أرجاء البلاد، إلى محطات يتم فيها التعامل مع كميات كبيرة من الهدروجين، كما أن على السيارات التي تعمل بخلايا الوقود أن تكون قادرة على منافسة السيارات الحالية من حيث رخص ثمنها وطول عمرها وجودة أدائها. وعليها أيضا تلبية متطلبات الأمان اللازمة والتغلب على الموقف السلبي للجمهور تجاهها، الذي لم تغب عن ذهنه ذكرى مأساة **منطاد** airship هندنبرگ في سنة 1937، التي لا يزال الناس يعتقدون أن غاز الهدروجين مسؤول عنها، على الرغم من توفر العديد من الأدلة الموثوقة التي تؤكد أن مسؤولية اشتعال الحريق في المنطاد تقع على طبيعة سطحه الخارجي القابل للاشتعال.

وترجع صعوبة تخزين كمية كافية من الهدروجين في السيارة إلى طبيعة هذه المادة. فالهدروجين، في درجة الحرارة الاعتيادية

Overview/ Hydrogen storage (*)

Infrastructural Hurdles (**)



سوف تقدم محطات تزويد السيارات بغاز الهدروجين في المستقبل خدماتها باستخدام أحد نظم التخزين التي يجري تطويرها في الوقت الحاضر.

وتحت الضغط الجوي (الذي تبلغ قيمته 14.5 باوند/بوصة مربعة[1]، "psi") يكون على شكل غاز تبلغ كثافته الطاقية 1/3000 من كثافة الكازولين الطاقية، وهذا يعني أن ملء خزان سيارة اعتيادية سعته 20 كالونا بهذا الغاز تحت ضغط جوي واحد، يجعلها تسير مسافة 300 قدم فقط؛ لذلك يعمل المهندسون، بغية تحسين أداء الهدروجين، على زيادة كثافته الطاقية في جميع أنظمة التخزين التي يعملون عليها.

يُعدُّ التوصل إلى جعل السيارات العاملة بوقود الهدروجين تقطع المسافة الدنيا المقدرة بنحو 300 ميل، أحد الأهداف العملياتية الأساسية التي تسعى الجهود المشتركة الحكومية والصناعية إلى بلوغها من خلال تطوير تقنيات متطورة لسيارات المستقبل. ويعتمد المهندسون لذلك طريقة مفيدة في حساباتهم مفادها أن كالونا واحدا من الكازولين، يعادل - من منظور طاقي - 1 كغ (2.2 باوند من الهدروجين). وتحتاج السيارات العادية الحالية إلى نحو 20 كالونا من الكازولين لقطع مسافة 300 ميل، وهذا يعني أن سيارة نموذجية تعمل بخلايا الوقود سوف تحتاج إلى نحو 8 كغ من الهدروجين (بسبب مردوده العملياتي الأعلى). وقد تحتاج سيارات أخرى، تبعا لنوعها وقياسها، إلى أكثر أو أقل من ذلك. وبيّنت التجارب المجراة على نحو 60 نموذجا من خلايا الوقود التي يطورها العديد من الشركات المصنّعة للسيارات أن المسافة التي تقطعها سيارات الخلايا تراوح ما بين 100 و 190 ميلا.

وإذ يَجِدُّ السعي نحو الوصول إلى هدف عملي قد يمكن بلوغه في عام 2010 (حيث تتوقع بعض الشركات رؤية أول سيارات تعمل بخلايا الوقود تسير على الطرقات)، يقارن الباحثون أداء تقانات تخزين مختلفة تسعى إلى حَمْل «**علامة** bench mark 6% وزنا»، وهو ما يعني نظام تخزين يحوي 6% من وزنه هدروجينا، بحيث يمكن تخزين 6 كغ من الهدروجين في نظام تخزين يزن 100كغ، وهو قياس ملائم للسيارات. وعلى الرغم من صغر ما تبدو عليه هذه النسبة فإن الوصول إليها أمر عسير جدا، إذ إن أفضل ما يمكن تحقيقه اليوم، باستخدام خزانات تعمل تحت ضغوط منخفضة نسبيا، لا يصل إلى 2%. كما أن تصنيع نظم تخزين تقارب في حجمها حجم خزان الوقود في سيارة اعتيادية تعمل بالكازولين، قد يكون أكثر صعوبة، لأن جزءا كبيرا من الحيز المخصص له سوف يُشغل بالخزان والصمامات والأنابيب والمنظِّمات والمِحسّات وتدابير العزل الحراري وأمور أخرى يتطلبها حمل 6 كغ من غاز الهدروجين. وأخيرا فإن على نظام التخزين أن يكون قادرا على إطلاق الهدروجين بمعدل يكفي ليكون أداء مجموع خلية الوقود والمحرك الكهربائي قادرا على تأمين الطاقة والتسارع اللذين يتوقعهما السائق.

تخزين الهدروجين(*)

يجري تخزين الهدروجين اليوم في معظم نماذج السيارات العاملة بخلايا الوقود، التي يبلغ عددها بضع مئات، في أسطوانات تتحمل ضغوطا مرتفعة كتلك المستخدمة للغطس تحت الماء. وقد سمح التطور التقني الذي لحق بصناعة الخيوط الجراحية وبصناعة ألياف الكربون، بصنع خزانات شديدة المتانة وخفيفة الوزن يمكن حمل الهدروجين فيها تحت ضغط يراوح بين 5000 و 10 000 باوند/بوصة مربعة "psi" (350 إلى 500 ضغط جوي) (*انظر المؤطر في الصفحة 22*). إلا أن زيادة الضغط المطبق على الخزان لا تعني بالضرورة زيادة كثافة الهدروجين فيه على نحو يتناسب وتلك الزيادة؛ فأفضل كثافة طاقة تم تحقيقها في خزانات بلغت قيمة الضغط المطبق عليها 10 000 باوند/بوصة مربعة (وهي ما يقابل تركيزا للهدروجين مقداره 39 غرام/لتر) تبلغ نحو 15% من طاقة الكازولين الذي يحمله الحجم ذاته. وتحمل خزانات الضغط العالي حاليا نحو 3.5% إلى 4.5 من وزنها هدروجينا. وقد صنعت شركة فورد مؤخرا نموذج سيارة رياضية تعمل بمحرك **هجين**[2] hybrid يتم فيه تخزين 4.5 كغ من وقود الهدروجين في خزان تحت ضغط مقداره 5000 باوند/بوصة مربعة، وتبلغ المسافة العظمى التي تقطعها السيارة بهذا الوقود 200 ميل.

تتقبل وسائط النقل الكبيرة، مثل الباصات والشاحنات وسواها لكبر حجمها، خزانات الضغط العالي التي يتم فيها تخزين كميات كافية من الهدروجين، في حين لا تستطيع سيارات الركاب حمل مثل هذه الخزانات؛ كما أن تكلفة هذه الأخيرة تزيد بأكثر من عشرة أضعاف على تكلفة الخزانات المستخدمة حاليا في السيارات.

يمكن تحسين كثافة الهدروجين الطاقية بتخزينه مميّعا، حيث يتم احتواء أكبر قدر منه في الحجم المحدد لأي خيار محتمل. والهدروجين

(*) Containing Hydrogen
(1) رطل إنكليزي لكل بوصة مربعة.
(2) وهو محرك يعمل بالكازولين كما يعمل بخلايا الوقود.

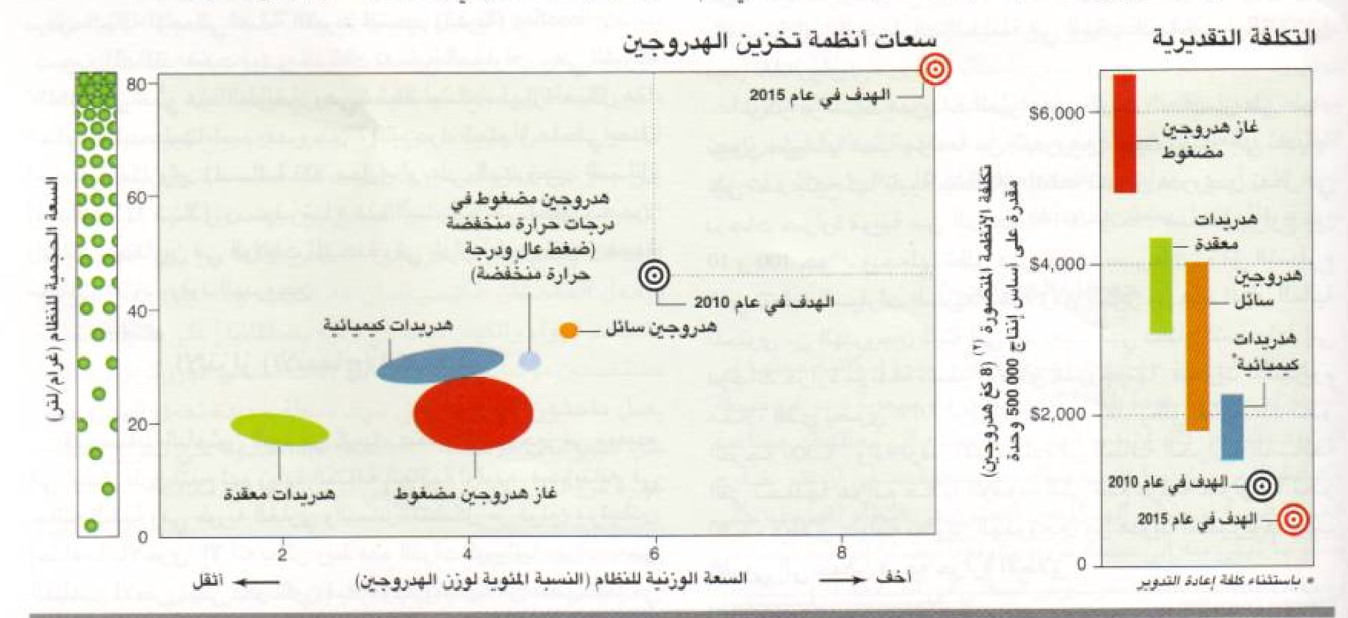


مثل أي غاز آخر، يتكاثف عند تبريده في درجة حرارة شديدة الانخفاض متحولا إلى الحالة السائلة: ويجري ذلك في درجة الحرارة -C253°[1] وتحت الضغط الجوي العادي. وتبلغ كثافة الهدروجين السائل 71 غرام/لتر، وهو ما يعادل 30% من كثافة الكازولين الطاقية. أما كثافة الهدروجين الوزنية التي يمكن تحقيقها في نظم التخزين فتتوقف على طبيعة تجهيزات الاحتواء والعزل فيها (*انظر المؤطر في الصفحة 23*).

إلا أن هناك عقبات كثيرة أمام استخدام الهدروجين المميّع. أولاها أن درجة غليانه الشديدة الانخفاض تقتضي تأمين تجهيزات تبريد شديدة الفعالية واتخاذ إجراءات احتياطية لضمان تدبره. كما يجب عزل خزاناته بصورة محكمة ومتقنة. وأخيرا فإن هذا التمييع يحتاج إلى

التحدي أمام عمليات التخزين[*]

يجب أن يحمل نظام تخزين وقود الهدروجين ما يكفي منه لجعل السيارة تسير مسافة 300 ميل على الأقل؛ ويجب أيضا أن يكون مدمّجا، خفيف الوزن، يسهل تركيبه على السيارة. ويتطلع الباحثون إلى التوصل في سنة 2010 إلى نظام تخزين يحوي 6% من وزنه هدروجينا، ويحمل 45 غراما من الهدروجين في اللتر. قد يلبي هذا النظام (*الممثل بالهدف الدائري في الشكل الأيسر*) حاجة الجيل الأول من السيارات العاملة بخلايا الوقود، علما بأن أيا من الخيارات المتاحة في الوقت الحاضر لا يسمح ببلوغ هذا الهدف. وسوف تكون هناك حاجة في عام 2015 لتحقيق أداء أفضل، إلى تلبية متطلبات الأعداد المتزايدة من أنماط السيارات المتوفرة حينها. تأخذ القيم المدونة *أدناه* بالاعتبار التجهيزات اللازمة لتشغيل كل واحد من الأنظمة المختلفة: فالكثافة الحجمية للهدروجين السائل، مأخوذا لوحده، تبلغ 71 غرام/لتر، وهي تنخفض إلى نحو 40غرام/لتر عند أخذ الخزان وملحقاته بالاعتبار. ولا تظهر على الشكل البيانات الخاصة بالمواد التي تمتز الهدروجين (*انظر المؤطر في الصفحة 25*) التي ما زالت في مراحل مبكرة من تطويرها، ولا تتوفر أي بيانات عن سعتها أو عن تكلفتها.



The storage Challenge (*) degree celsius (1) projected system (2)

هدروجين مضغوط(*)

أسطوانات متينة وخفيفة الوزن، تتحمل ضغوطا عالية، مثل أسطوانات الغواصين، يعبأ فيها الغاز المضغوط تحت ضغط يراوح بين 5000 و 000 10باوند/ بوصة مربعة (psi).

كثافة التخزين





الإيجابيات	السلبيات	الوضع الحالي
خفيفة الوزن	كبيرة الحجم، تحتاج إلى انضغاط تحت ضغط عال وإلى إعادة تعبئة	متوفرة

طاقة تزيد على ما تتطلبه عملية انضغاط الغاز تحت ضغط مرتفع. تؤدي هذه المتطلبات إلى ارتفاع سعر وقود الهدروجين السائل، وإلى تدنّي مردود الطاقة الإجمالي لعملية **التبريد الشديد (القرِّية)** cryocooling.

ومع ذلك فقد عمدت إحدى شركات تصنيع السيارات، وهي الشركة BMW، إلى تبنّي هذه الطريقة؛ وهي تخطط لصنع سيارة خلال هذا العام، أطلقت عليها اسم «هدروجين 7»، بمحرك احتراق داخلي يعمل إما على الگازولين (لمسافة 300 ميل)، أو على الهدروجين السائل (لمسافة 125 ميلا). وسوف تباع هذه السيارة على نطاق محدود ولزبائن مختارين في الولايات المتحدة وفي بلدان أخرى تتوفر فيها محطات التزود بوقود الهدروجين.

الالتزاز (الاندماج) الكيميائي(**)

قد يستفيد الباحثون اليوم من كيمياء عنصر الهدروجين في سعيهم إلى إيجاد طرق تتيح لهم زيادة الكثافة الطاقية لوقوده. فجزيئاته، في حالته النقية وفي طوريه الغازي والسائل، تتشكل من ذرتين مرتبطتين إحداهما بالأخرى؛ إلا أنه يمكن ربط هذه الذرات كيميائيا بذرات بعض العناصر الأخرى على نحو تكون فيه أقرب، بعضها من بعض، ممّا في الهدروجين السائل. وتسعى أبحاث تخزين الهدروجين في الوقت الحاضر إلى إيجاد مواد يمكنها تحقيق هذا الغرض.

ويركز بعض الباحثين جهودهم على صنف من بعض المواد المعروفة باسم «**هدريدات الفلزات** metal hydrides العكوسة»، تم اكتشافها بمحض المصادفة في مختبرات شركة فيليبس بهولندا سنة 1969، حين لوحظ أن سبيكة مصنوعة من فلزّي الساماريوم والكوبالت samarium-cobalt تمتص غاز الهدروجين عند وضعها في جو مضغوط منه، كما يمتص الإسفنج الماء؛ وعند إبعاد هذا الضغط المرتفع يتحرر الهدروجين من السبيكة، وهذا يدل على أن له تأثير امتصاص عكوسا.

وما لبثت أبحاث مكثفة أخرى أن لحقت بخطى هذا الاكتشاف، فكان ‹J. رايلي› [في مختبر بروك هاڤن الوطني] و‹G. ساندروك› [في مركز إنكو للأبحاث والتطوير بولاية نيويورك] رائدين في تطوير سبائك من هدريدات ذات قدرة ممتازة على امتصاص الهدروجين؛ وكان عملهم المبكر هذا الأساس الذي قامت عليه صناعة بطاريات هدريدات النيكل الواسعة الانتشار اليوم، والتي بلغت كثافة الهدروجين فيها قيما عالية جدا تزيد بنحو 150% على ما هي في الهدروجين السائل، وحيث تتقارب ذرات الهدروجين فيما بينها إلى حد كبير بسبب حشرها بين ذرات الفلز في **شبيكته البلورية** crystal lattice [*انظر المؤطر العلوي في الصفحة 24*].

تمتلك هدريدات الفلزات العديدَ من الخصائص التي تجعلها تلبّي بصورة جيدة متطلبات الاستخدام في السيارات، فهي تؤمن كثافة هدروجينية أعلى مما يؤمنه الهدروجين السائل وتحت ضغوط منخفضة نسبيا تراوح بين 10 و 100 ضغط جوي؛ كما أنها ثابتة بطبيعتها بحيث لا يحتاج حفظها وتخزينها إلى بذل أي طاقة إضافية، مع حاجتها إلى طاقة حرارية لإطلاق الغاز الذي تختزنه. أما **نقطة ضعفها**(1)، فتكمن في كبر كتلتها، حيث يعد وزنها عائقا أمام تخزينها في السيارات. وقد توصل الباحثون في مجال الهدريدات الفلزية في الوقت الحاضر إلى تحقيق سعة هدروجينية فيها حدّها الأقصى 2% من وزنها الكلي، وهذا يعني الحاجة إلى نظام تخزين يزن 1000 باوند (ويسمح للعربة بقطع مسافة 300 ميل)، وهو رقم كبير جدا بالنسبة إلى السيارات العاملة في الوقت الحاضر والتي تزن نحو 3000 باوند.

تركز دراسات هدريدات الفلزات في الوقت الحاضر على مواد تحوي بطبيعتها نسبة مرتفعة من الهدروجين، حيث يصار إلى تعديلها على نحو يتيح لها تلبية متطلبات أنظمة تخزين هدروجين تعمل في درجات حرارة قريبة من الدرجة 100°C، وتحت ضغط يراوح بين 10 و 100 **جو**(2)، ويجعلها تطلق هدروجينها بسرعات تحقق التسارع الذي تتطلبه السيارات السريعة. هذا ولأن الكثير من هذه المواد العالية المحتوى من الهدروجين ثابتة إلى حد بعيد، فهي تحتاج لتسخينها إلى درجات حرارة مرتفعة نسبيا لإطلاق هدروجينها. فهدريد المگنيزيوم مثلا، الذي يحوي 7.6% من وزنه هدروجينا، يطلق غازه عند نحو الدرجة 300°C. وإذا أردنا الاستفادة من الطاقة الحرارية الضائعة التي تحملها عوادم خلايا الوقود، التي تبلغ درجة حرارتها نحو 80°C، لإطلاق عملية تحرير الهدروجين من هدريد المگنيزيوم، وجب السعي إلى خفض درجة حرارة الإطلاق.

(*) COMPRESSED HYDROGEN
(1) Achilles' heel
(**) Chemical Compaction
(2) atmospheres

الهدريدات القليلة الثبات(*)

يسعى الكيميائيان <J. J. فاجو> و<G. L. أولسن> [من مختبرات HRL في كاليفورنيا]، كما يسعى باحثون غيرهم في مواقع أخرى، إلى استكشاف خيارات أو مقاربات ذكية للتغلب على الصعوبة التي يسببها ارتفاع درجة حرارة الإطلاق؛ وتجمع هدريداتهم «القليلة الثبات» مواد عدة تعمل على تبديل مسار التفاعل، بحيث تطلق المركبات الناتجة ما تحويه من هدروجين في درجات حرارة أكثر انخفاضا.

والهدريدات القليلة الثبات تنتمي إلى صنف من المواد المسماة الهدريدات المعقدة، والتي تحوي غاز الهدروجين في تركيبها. وقد ظنّ الكيميائيون لأمد طويل أن العديد من هذه المواد لا يصلح للاستخدام وقودا للسيارات. فهي مركبات غير عكوسة، إذ تحتاج بعد تفككها وإطلاقها ما تحمله من هدروجين، إلى معالجة لاحقة تعيدها إلى حالتها الأولية المهدرجة. وقد أدهش الكيميائيان <B. بوگدانوفيتش> و<M. شويكاردي> [من معهد ماكس پلانك لأبحاث الفحم في ألمانيا] عام 1996، حين قدّما الدليل على أن معقد هدريد آلانات الصوديوم يصبح عكوسا عندما يضاف إليه مقدار يسير من فلز التيتانيوم. وقد أطلق هذا العمل موجة من النشاط خلال العقد الماضي: فتم في مختبرات HRL تحضير معقد قليل الثبات من بوروهدريد الليثيوم وهدريد المگنيزيوم يحمل، بصورة عكوس، 9% من وزنه هدروجينا ويعمل في درجة الحرارة 200°C. واعتُبر هذا التحسين أمرا جديرا بالملاحظة مع أن درجة حرارة عمل المعقد ظلت مرتفعة على نحو ما، وظلت سرعة انطلاق الهدروجين منه بطيئة جدا، وهذا يحول دون استخدامه وقودا للسيارات؛ ومع ذلك فقد كان عملا واعدا.

وعلى الرغم من القيود التي تحدّ من استخدام هدريدات الفلزات في الوقت الحاضر، فإن العديد من الشركات المصنعة للسيارات يُرى فيها الخيار الأفضل الذي يعمل تحت ضغط منخفض والأكثر قابلية للحياة على المدى القريب والمدى المتوسط. ففي شركتي تويوتا وهوندا، يخطط المهندسون المصمّمون لمقاربة هجينة في نظام يعمل فيه هدريد فلزي صلب تحت ضغط معتدل نسبيا (أخفض على نحو ملحوظ من 10 000 psi)، وقادر كما يتوقعون، على قطع مسافة تزيد على 300 ميل. كما يدعم فريق من خبراء التخزين في شركة جنرال موتورز، من بينهم <S. جورجنسن> أبحاثا تجرى في بلدان عدة (من بينها روسيا وكندا وسنگافورة) عن طيف واسع من نظم هدريدات الفلزات. وتتعاون الشركة مع مختبرات سانديا الوطنية في برنامج يمتد على أربع سنوات، بمخصصات تبلغ 10 ملايين دولار، لصنع نموذج نظام يعمل بمعقد هدريد فلزي.

حوامل الهدروجين(**)

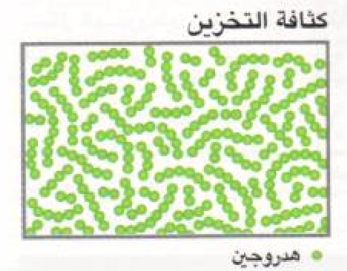
وهناك خيارات مقاربات أخرى تتمتع بميزة إمكانية عملها في السيارات بصورة جيدة، لكنها تواجه، بدورها، صعوبة تبدو في مرحلة التزويد بالوقود. ذلك أن هذه الهدريدات تحتاج إلى معالجات صناعية لإعادة تكوين مادتها المستهلكة، وهي خطوة ينبغي أن تتم خارج العربة؛ إذ ما إن ينطلق الهدروجين المختزن في النظام المعتمد، حتى يُسلَّم ما تبقى منه إلى محطة تزويد بالوقود ليصار إلى معالجته في وحدة معالجة كيميائية (*انظر المؤطر السفلي في الصفحة 24*).

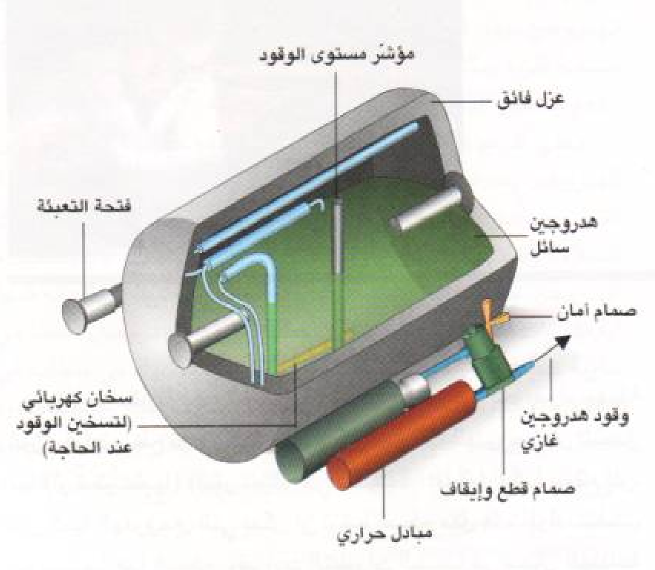
وقد درس فريق من الباحثين اليابانيين هذه المقاربة منذ أكثر من 20 سنة باستخدام نظام مكون من مادتي الديكالين والنفتالين. يتحول الديكالين السائل (وصيغته $C_{10}H_{18}$) عند تسخينه إلى مركب كيميائي ذي رائحة واخزة، هو النفتالين (وصيغته $C_{10}H_{18}$)، حيث تتغير طبيعة الروابط الكيميائية في جزيء الديكالين، وتنطلق من هذا التحول خمسة جزيئات من غاز الهدروجين. ومع تعريض النفتالين إلى جو من غاز الهدروجين تحت ضغط معتدل، ينعكس هذا الإجراء، فيمتص النفتالينُ الهدروجينَ ويتحول ثانية إلى ديكالين decalin. (يبلغ وزن الهدروجين الممتص 6.2% من وزن النفتالين). ويعمل الباحثان الكيميائيان <A. كوبر> و<G. بيز> [من شركة منتجات الهواء والكيميائيات في ولاية پنسلڤانيا] على تقنيات مماثلة مستخدمين مركبات عضوية سائلة (ذات أساس هدروكربوني). كما يعمل **باحثون آخرون**(1) على مواد سائلة جديدة تحمل الهدروجين، مثل **البورانات الأمينية** aminoboranes القادرة على تخزين كميات كبيرة من الهدروجين وإطلاقه في درجات حرارة معتدلة.

الهدروجين السائل(***)

يتكاثف الهدروجين ويميع عند تبريده إلى الدرجة -253°C، وتتطلب المحافظة على درجة الحرارة هذه الكثير من تجهيزات العزل ومن تجهيزات مساعدة أخرى.

كثافة التخزين





الإيجابيات	السلبيات	الوضع الحالي
خفيف الوزن وصغير الحجم.	فقد مستمر للوقود بسبب التسخين ـ الحاجة إلى طاقة لتمييع الهدروجين.	متوفر

Destabilized Hydrogen (*)
Hydrides Carriers (**)
LIQUID HYDROGEN (***)

(1) من بينهم <S. توماس أوتري> وفريقه [في المختبر الوطني لشمال غرب الپاسيفيك] وأستاذ الكيمياء <G. L. سيدون> [في جامعة پنسلڤانيا].

هدريدات معقدة(*)

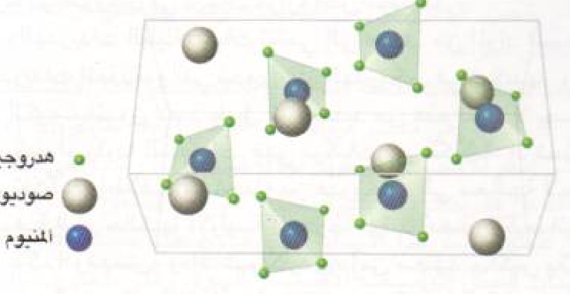
يشكل الهدروجين، بارتباطه بفلزات وبمواد أخرى، هدريدات فلزية (كيميائية) (*في أسفل الصفحة*)، وهدريدات معقدة (*في يسار الشكل*). ويتحرر الوقود الهدروجيني، عند الحاجة إليه، بتسخين هذه المعقدات.

كثافة التخزين






الإيجابيات	السلبيات	الوضع الحالي
صغير الحجم، يمكن إعادة شحنه على السيارة، كما يمكنه العمل تحت ضغوط منخفضة أو متوسطة.	مرتفع الوزن، يعمل في درجات حرارة مرتفعة، ويتدفق الوقود منه بصورة غير كافية.	قيد التطوير.



هدريد الصوديوم والألمنيوم (مثال عن هدريد معقد)



تصميم مواد جديدة(**)

وتتوجه مقاربة أخرى لموضوع اختزان الهدروجين نحو مواد خفيفة الوزن وذات سطح نوعي كبير جدا، يمكن لجزيئات الهدروجين أن تلتصق بها (أو تُمتزّ عليها) (*انظر المؤطر في الصفحة المقابلة*). وكما يتوقع المرء فإن كمية الهدروجين التي يمكن أن ترتبط بسطح مثل هذه المواد تتناسب مع مساحة هذا السطح. وقد أدت التطورات الحديثة في مجال **الهندسة النانوية**[1] إلى تصنيع حشد من مواد ذات سطح نوعي عالٍ جدا تبلغ قيمته في بعضها 5000م^2 للغرام الواحد، وهذا يعني إمكانية تغطية مساحة تبلغ ثلاثة أفدنة (نحو 12 000م^2) بملء ملعقة صغيرة من مسحوق هذه المادة. وتستدعي الاهتمام من بين هذه المواد، تلك المصنّعة من عنصر الكربون، وذلك لخفة وزنها وانخفاض تكلفتها وإمكانية تشكيل العديد من البنى النانوية القياس منها: من أنابيب نانوية إلى أنابيب على شكل أبواق مستدقة إلى **الفوليرينات**[2] fullernes ذات الجزيئات الكروية الشكل، إلى الهلامات الهوائية (وهي أجسام صلبة ذات مسامية فائقة)؛

هدريدات كيميائية(***)

تحتوي هذه المركبات التي قد تكون سائلة أو صلبة على الهدروجين؛ وينطلق الوقود الغازي منها عند تسخينها وتعريضها لحفّاز (*الصورة اليسرى*). ويبين المخطط (*في أقصى اليسار*) كيفية معالجة الهدريد الكيميائي في خارج السيارة وإعادة تحميله بالهدروجين بعد استخدامه.

كثافة التخزين

الإيجابيات	السلبيات	الوضع الحالي
خفيف الوزن وصغير الحجم، يمكن أن يكون سائلا.	حاجة المواد إلى المعالجة وإعادة الصلاحية في خارج السيارة؛ الحاجة إلى تكلفة إضافية بسبب المعالجة في خارج السيارة وما تتطلبه من بنى تحتية.	قيد التطوير.



N-كاربازول الإتيل

COMPLEX HYDRIDES (*) Designer Materials (**) CEMICAL HYDRIDES (***)

(١) أي بمقياس النانو، وهو ما يعادل 10^{-9} من وحدة القياس المعتمدة: فالنانومتر يعادل 10^{-9} متر.
(٢) الفولّيرين هو الشكل المتغاير الرابع لعنصر الكربون في الطبيعة. وتتكون بنيته من حلقات خماسية وحلقات سداسية متجاورة مترتبة على شكل كرة قدم. اكتشفه في سنة 1985 المهندس المعماري «فولّرين بوكمينستر»، ومنه أخذ اسمه. أما الأشكال الثلاثة الأخرى لعنصر الكربون فهي الكربون عديم الشكل والماس والگرافيت. (التحرير)

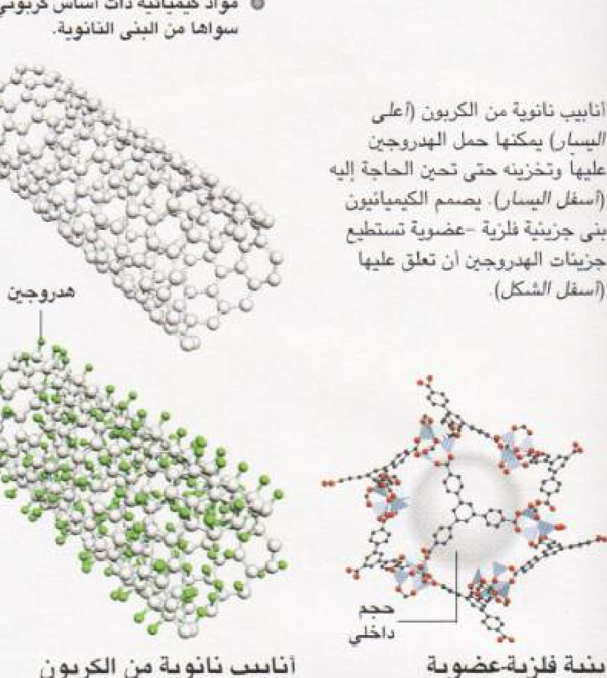
مواد تمتز الهدروجين(*)

تمتز (تَعْلَق) ذرات الهدروجين على سطح مواد تصمم على نحو خاص لذلك.

كثافة التخزين



أنابيب نانوية من الكربون (أعلى *اليسار*) يمكنها حمل الهدروجين عليها وتخزينه حتى تحين الحاجة إليه (*أسفل اليسار*). يصمم الكيميائيون بنى جزيئية فلزية -عضوية تستطيع جزيئات الهدروجين أن تعلق عليها (*أسفل الشكل*).



بنية فلزية-عضوية | **أنابيب نانوية من الكربون**

الإيجابيات	السلبيات	الوضع الحالي
خفيف الوزن ـ يعمل على نحو عكوس في السيارة، يمكن أن يعمل في درجة حرارة الغرفة.	كبير الحجم ـ قد يتطلب عمله درجات حرارة منخفضة.	في مرحلة مبكرة من البحث والتطوير.

ومنها أيضا الكربون المنشَّط وهو مادة رخيصة الثمن، يمكنها اختزان حتى 5% من وزنها هدروجينا.

ومع ما لهذه البنى الكربونية ذات السطح النوعي المرتفع جدا من مزايا فإن أمامها جميعا عائقا مشتركا يحدّ من إمكانية استخدامها؛ فارتباط جزيئات الهدروجين بذراتها ارتباط واهٍ يقتضي معه حفظها في درجات حرارة شديدة الانخفاض وقريبة من درجة حرارة النتروجين السائل وهي -196°C. لذلك يوجه الباحثون سعيهم فيها ـ على خلاف الباحثين في مجال الهدريدات الفلزية الذين يسعون إلى خفض طاقة ارتباط الهدروجين بها ـ لاستكشاف وسائل ترفع من قيمة طاقة الارتباط هذه، وذلك بتعديل طبيعة سطوحها أو بإضافة مواد جديدة إليها تبدل من خصائصها؛ ويستخدم هؤلاء الباحثون نماذج نظرية لبنى كربونية بغية التوصل إلى تحديد الأنظمة الواعدة الأفضل تمهيدا لدراسات لاحقة تُجرى عليها.

وعدا هذه المقاربات التي تتوجه نحو مواد ذات أساس كربوني، فإن هناك مقاربة مغرية أخرى لهندسة نانوية تُوجه صوب مجموعة من مواد تعرف بالمواد العضوية-الفلزية، كان قد اكتشفها منذ سنوات قليلة <عمر ياغي> [أستاذ الكيمياء في جامعة ميتشيگان بآن هاربور، وهو حاليا في جامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس]. ويشار إلى هذه المواد بالرمز MOF's، وهو ما يعني **البنى العضوية الفلزية** metal-organic framework's. وقد بين <ياغي> والعاملون معه أنه يمكن تصنيع هذا الصنف الجديد من المواد البلورية ذات السطوح العالية المسامية، بربط مركبات لاعضوية ببعضها بواسطة **دعامات** struts من مركبات عضوية (*انظر المؤطر في هذه الصفحة*). ولهذه المركبات التركيبية بنى جميلة المظهر، كما يمكن التحكم في خصائصها الفيزيائية على نحو تغدو معه قادرة على تحقيق وظائف ومهام مرغوبة. كما أن لهذه البنى اللامتجانسة سطوحا نوعية كبيرة جدا تبلغ 5500 م²/غرام، ويمكن تكييفها بإقامة مواقع كيميائية عليها تحقق ارتباطا أفضل لجزيئات الهدروجين. وقد تمكن الباحثون حتى الوقت الحاضر من تصنيع بنى عضوية فلزية يمكنها حمل 7% من وزنها هدروجينا في الدرجة -196°C. وهم يتابعون البحث لدعم هذا الأداء وتحسينه.

وعلى الرغم من أن التقدم الذي تشهده حاليا طرق تخزين الهدروجين يعد مشجعا، فإن الوصول إلى المقاربة الأمثل لحل مسألة التخزين أمر يحتاج إلى الوقت ويتطلب الصبر والأناة والأبحاث الخلاقة والجهود التطويرية. لقد ظل الأمل ـ والتحدي ـ باستخدام الهدروجين في وسائط الانتقال، على حاله قرونا طويلة لم تلحقه فيها أية تغيرات أساسية. لقد حمل <جاك شارل> الهدروجين المعبّأ في حاوية خفيفة الوزن، والذي مكّنه من التنقل في الأجواء في منطاده في العقود الأخيرة من القرن الثامن عشر. وسوف يتيح إيجاد حاوية تحمل الهدروجين على متن السيارات إمكانية التنقل في أرجاء العالم في العقود القادمة من القرن الحادي والعشرين دون خشية من إفساد الجو وتلويث البيئة. ■

(*) HYDROGEN ADSORBENTS

المؤلفون

Sunita Satypal - John Petrovice - George Thomas

يعملون جميعا في برنامج وزارة الطاقة بالولايات المتحدة الأمريكية في مجال الأبحاث التطبيقية والتطويرية لتقانة تخزين الهدروجين. شغل <ساتيابال> عدة مناصب في الجامعات وفي الصناعة، وهو الآن رئيس الفريق العامل في وزارة الطاقة في مجال الأبحاث التطبيقية والتطويرية لتقانة تخزين الهدروجين. أما <بيتروفيتش> [وهو متقاعد حاليا]، فزميل في المختبر الوطني بلوس ألاموس ومستشار في وزارة الطاقة وعضو في كل من جمعية الخزف الأمريكية والجمعية الأمريكية للمواد. أما <توماس> [وهو الآن مستشار لدى وزارة الطاقة] فذو خبرة تمتد لأكثر من ثلاثين سنة في دراسة تأثيرات الهدروجين في الفلزات بمختبرات سانديا الوطنية. إن الآراء الواردة في هذه المقالة تعبر عن وجهة نظر المؤلفين ولا تعبر عن آراء وزارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية.

مراجع للاستزادة

The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs. National Research Council and National Academy of Engineering. National Academies Press, 2004. Available at **www.nap.edu/catalog.php?record_id=10922**

Hydrogen Program: 2006 Annual Merit Review Proceedings. U.S. Department of Energy. Available at **www.hydrogen.energy.gov/annual_review06_proceedings.html**

United States Council for Automotive Research: **www.uscar.org**

International Energy Agency's Hydrogen Implementing Agreement: **www.ieahia.org**

International Partnership for the Hydrogen Economy: **www.iphe.net**

Scientific American, April 2007

هل هناك شفاءٌ من الكَلَب ؟[*]

إن بقاء مراهقةٍ على قيد الحياة *بعد إصابتها بالكَلَب ربما يشير إلى سبيلٍ لمعالجة هذا المرض المروّع.*

<E .R. ويلوكباي جونير>

إن الكَلَب واحد من أكثر الأمراض قدما وترويعا للناس. فهو يهاجم الدماغ مسببا تهيجا وذعرا واختلاجات عنيفة. ويعاني الضحايا تقلصات مؤلمة في الحلق عند محاولتهم الشرب أو الأكل. ويعقب ذلك شلل، إلا أن البشر المصابين بالكَلَب يبقون يقظين بصورة متقطعة وحتى قرب حلول الموت ويكون بإمكانهم التعبير عن مخاوفهم ومعاناتهم لأسرهم وللقائمين على رعايتهم. ومع أن اللقاحات الخاصة بڤيروس الكَلَب تستطيع أن تمنع تطور المرض، إلا أن الأطباء، وحتى عهدٍ قريب، لم يكن لديهم أي أمل بالنسبة إلى المرضى الذين أخفقوا في الحصول على التمنيع باللقاح في أبكر فرصة بعد تعرضهم للعض من حيوان مصاب بالكَلَب. وبمجرد ظهور أعراض الكَلَب (نمطيا خلال شهرين من العضة) فإن الموت كان عادة محتوما في أقل من أسبوع.

ومع ذلك ففي عام 2004 كنت ضمن فريق من الأطباء في مستشفى الأطفال التابع لولاية ويسكونسن، وقد تمكنوا من إنقاذ فتاة عمرها 15 عاما من مثل هذا المصير. وبذلك صارت <جينا كيسي> [من ولاية ويسكونسن] أول ناجية غير محصنة من الكَلَب (كذلك هناك خمسة أشخاص آخرون تمّ تلقيحهم، لكن الكَلَب تطوّر لديهم على نحو ما ومع ذلك نجوا أيضا). لقد أثار علاجنا المبتكر، والمسمى بروتوكول ميلووكي، الجدل بين الأطباء الاختصاصيين، وادعى البعض أن شفاء <جينا> كان رمية من غير رام. ومع أن المحاولات القليلة لإعادة تطبيق المعالجة لم تنقذ حياةَ أي مريض بالكَلَب غيرها، فبحماس، نأمل أننا نسير على الطريق الصحيح. فعلى أقل تقدير، بدأ الباحثون بإجراء دراسات على الحيوانات لتعيين أي من العناصر في هذا البروتوكول قد يساعد على هزيمة الكَلَب.

وقد يصبحُ الشفاء من الكلَب هبة للعالم النامي، فالمرض نادر في الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا، لأن حملات برامج الصحة العامة قد قضت تقريبا على الڤيروس في الحيوانات الأليفة، مثل: الكلاب والقطط والماشية. ولا يموت إلا مريضان أو ثلاثة كل عام في الولايات المتحدة، وهذا يعني أن فرصة الشخص أن يصاب بالمرض هي نحو واحد لكل 100 مليون. (في الحقيقة إن المرض هو من الندرة في الولايات المتحدة إلى حد أنه لا يتمّ تعرفه في نصف عدد المرضى إلا بعد أن يموتوا). ولكن منظمة الصحة العالمية تقدّر أن الكلَب يقتل 55 000 فرد سنويا في آسيا وإفريقيا وأمريكا اللاتينية، وأن معظم الضحايا يصابون بالعدوى نتيجة لعض الكلاب. وإذا تمكن الباحثون من تحليل بروتوكول ميلووكي كما يجب وتعرّفوا معالجة غير مكلفة قد تكون لها فوائد مماثلة فإن العلاج الناتج قد ينقذ آلاف الأرواح.

عضة خفاش[**]

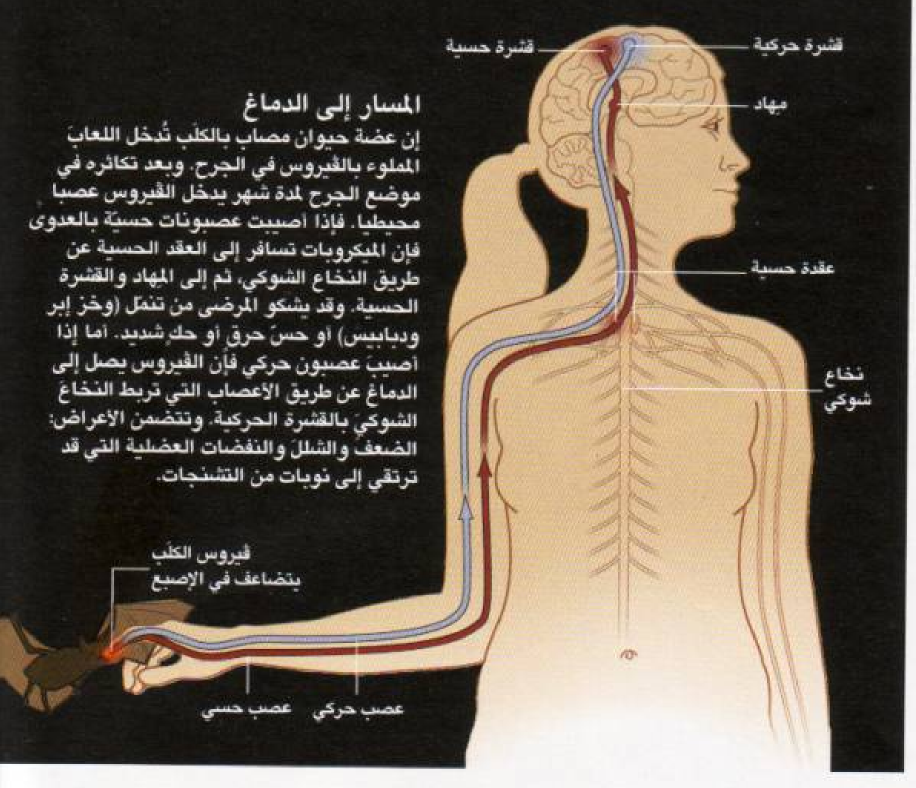
إن الكلَب هو ڤيروس رنوي RNA virus يحتوي على **الرنا** RNA، وهذا يعني أن له غشاءً خارجيا وأنه يستخدم حمض الريبونوكليك كمادته الجينية عوضا عن حمض الديزوكسي ريبونوكليك (**الدنا** DNA) الذي يستخدمه الإنسان وجميع أشكال الحياة الأخرى. إن هذا الميكروب[1] الذي يشبه الرصاصة يغزو خلايا الإنسان ويدفعها بعنف لإنتاج ڤيروسات

(*) A CURE FOR RABIES?
(**) A Bat Bite
(1) الكائن المجهري.



جديدة، ويُحدث ما يحدثه من تلف بصنع خمسة پروتينات. ولأنها شديدة التخصص بالنمو في خلايا الدماغ والأعصاب فإن ڤيروس الكَلَب نادرا ما يمكن العثور عليه في أي مكان آخر في الجسم. فبعد نقله عن طريق عضة حيوان مصاب بالكَلَب (والتي تُدخِل اللعابَ المصاب بالعدوى في الجرح) يتضاعف الڤيروس موضعيا في العضلات أو الجلد. ولأن الڤيروس يكون موجودا بكمية ضئيلة جدا ولأنه لا ينتقل من خلال مجرى الدم أو العقدِ اللمفاوية، فإن الجهاز المناعي للجسم لا يكتشف هذه الميكروبات (الأحياء المجهرية) في هذه المرحلة. وتستمر فترة الحضانة الخالية من الأعراض نمطيا من أسبوعين إلى ثمانية أسابيع، إلا أنها قد تمتد لعدة سنوات. وفي نقطة معينة تصل الڤيروسات إلى أحد الأعصاب، وعندها تكون اللعبة قد انتهت.

في أواخر القرن التاسع عشر اكتشف عالم الميكروبات «لويس باستور» أن حقن ڤيروس الكَلَب المقتول يحفّز الجهازَ المناعي على إنتاج أضداد ضد هذا الميكروب؛ والأكثر من ذلك فقد تبين لـ«باستور» أن الوقت اللازم للجسم لإنتاج تلك الاستجابة المناعية أقصر من فترة حضانة المرض. وقد حقن ڤيروسات مقتولة مأخوذة من الأنخعة (الحبال الشوكية للأرانب **المخموجة**[1]، في الأفراد الذين عضتهم كلاب مصابة، فبقوا أحياء باكتساب المناعة قبل ظهور أي أعراض عندهم. وقد يتطور الكَلَب في الفسحة ما بين التمنيع والاستجابة المناعية، لذلك يحقن الأطباءُ مرضاهم بأضداد خاصة بالكَلَب لتغطية تلك الفجوة الزمنية. هذا وتنظيف الجرح بطريقة ملائمة بالماء والصابون (الذي يقتل الڤيروس بنزع غشائه) هو أمر مهم أيضا. والوقاية فيما بعد التعرض للإصابة (العناية بالجرح وخمس حقنات من لقاح مأمون جدا وجرعة واحدة من الأضداد antibody) لم تفشل أبدًا في الولايات المتحدة



التفاقم المروّع للكَلَب(**)

تستطيع اللقاحات ضد الكَلَب أن تمنع المرض من التطور إذا أُعطيت سريعا بعد تعرض المريض للعض م[ن] حيوان مصاب بالكَلَب؛ ولكن المرض يصبح مميتا لهؤلاء الذين يفشلون في الحصول على اللقاح.

المسار إلى الدماغ

إن عضة حيوان مصاب بالكَلَب تُدخل اللعابَ المملوء بالفيروس في الجرح. وبعد تكاثره في موضع الجرح لمدة شهر يدخل الفيروس عصبا محيطيا. فإذا أصيبت عصبونات حسيّة بالعدوى فإن الميكروبات تسافر إلى العقد الحسية عن طريق النخاع الشوكي، ثم إلى المهاد والقشرة الحسية. وقد يشكو المرضى من تنمّل (وخز إبر ودبابيس) أو حسّ حرقٍ أو حكٍ شديد. أما إذا أصيبَ عصبون حركي فإن الفيروس يصل إلى الدماغ عن طريق الأعصاب التي تربط النخاعَ الشوكيَ بالقشرة الحركية. وتتضمن الأعراض: الضعفَ والشللَ والنفضات العضلية التي قد ترتقي إلى نوبات من التشنجات.

منذ إدخالها في عام 1975.

لقد بدأ صراع الفتاة «جينا» مع الكَلَب عندما اصطدم خفاش بنافذة داخلية في كنيستها في أثناء أحد الطقوس الدينية. وعندما التقطته من طرفي جناحيه لإطلاقه إلى الخارج، انطلق الخفاش بقوة نحو يد «جينا» اليسرى، وأصيبت في سبابتها بجرح قاطع بطول ربع بوصة (نحو 6 مليمترات). ولما كانت أسنان الخفاش قصيرة وحادة كالشفرة، فلا يحسّ الناس بالعضة عادة، وقد يكون من الصعب العثور على موضعها. لهذه الأسباب ينصح مسؤولو الصحة بإعطاء لقاح الكَلَب لكل من لامس خفاشا أو كان نائما في غرفة فيها خفاش (إلا إذا أمكن أسر الخفاش وتم اختباره للتأكد من خلوه من الكَلَب). وقد نظفت «جينا» الخدش لديها بماء الأكسجين (بيروكسيد الأكسجين) ولكنها لم تسعَ للحصول على التمنيع، ولو أنها فعلت ذلك لأتمّت دراستها الثانوية في الصف الثاني من دون اضطراب.

وبدلا من ذلك، تضاعف الڤيروس في إصبع «جينا» نحو الشهر، ثم دخل في أحد الأعصاب وانتقل بسرعة نحو دماغها متحركا بسرعة نحو سنتيمتر واحد في الساعة. ولأن هذا الڤيروس يستهدف الجهاز العصبي دون غيره (حيث لا تعمل أنواع عديدة من الخلايا المناعية) فإن الجسم لا يكتشف الڤيروس إلا بعد أن يكون قد ارتشح بكثافة في الدماغ والنخاع الشوكي. والمريض بالكَلَب يتطور لديه في النهاية شللٌ تام نتيجة خمج (عدوى) الأعصاب الحركية وفقدٌ لكل الإحساس نتيجة خمج الأعصاب الحسية. والآلية وراء هذا الفقد للنشاط

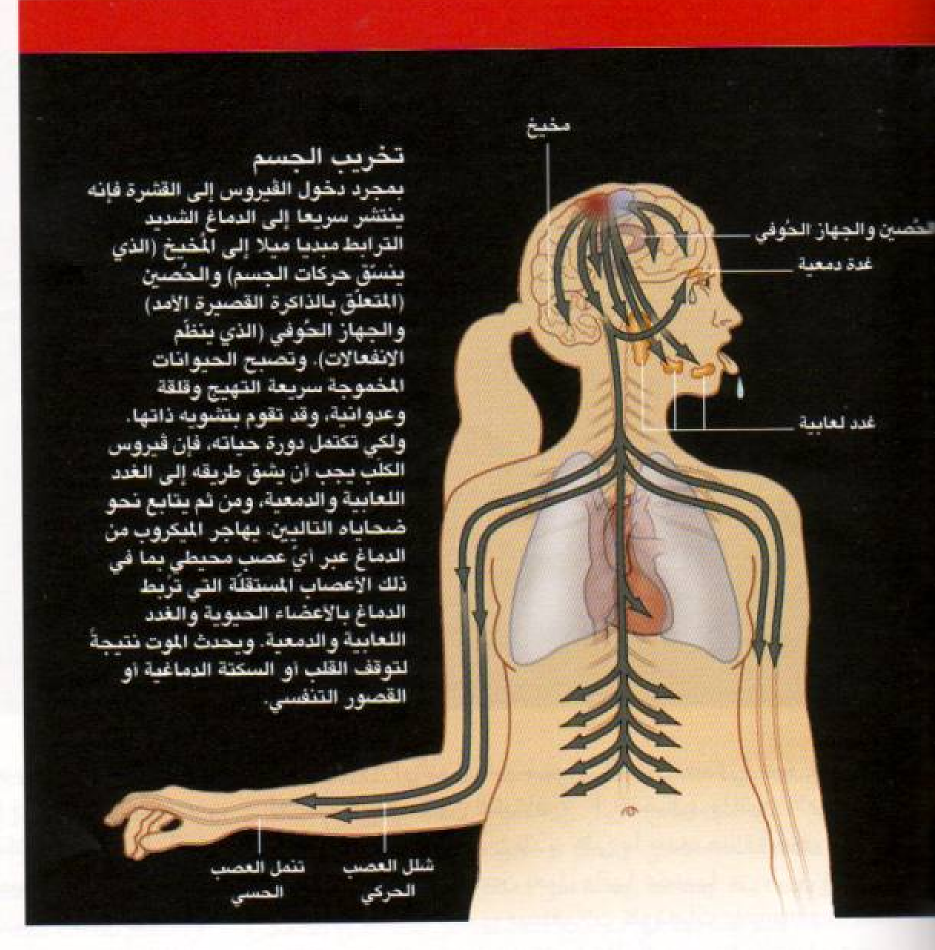
نظرة إجمالية/ أحجية داء الكَلَب(*)

- في عام 2004 أنقذ الأطباء حياة فتاة مراهقة التقطت الكَلَب من عضة خفاش. وتضمن العلاج إحداث سبات (غيبوبة) وإعطاء عقاقير كافحت فيروس الكَلَب وصانت الدماغ.
- لا يعرف الباحثون لماذا نجحت المعالجة، ونجاحها لم يتمّ تكراره. ويحتاج الباحثون إلى أن يجربوا العلاج على الحيوانات المصابة بالكَلَب، ولكن الكليات البيطرية تعارض ذلك.
- إن بمقدور علاج للكَلَب، يمكن الاعتماد عليه وغير باهظ الثمن، أن ينقذ آلاف الأرواح في البلاد النامية، حيث لا يزال المرض شائعا.

(*) Overview/ A Rabies Riddle

(**) THE TERRIBLE COURSE OF RABIES

(1) المصابة بالعدوى.



تخريب الجسم

بمجرد دخول الفيروس إلى القشرة فإنه ينتشر سريعا إلى الدماغ الشديد الترابط مبديا ميلا إلى المُخيخ (الذي ينسّق حركات الجسم) والحُصين (المتعلق بالذاكرة القصيرة الأمد) والجهاز الحُوفي (الذي ينظّم الانفعالات). وتصبح الحيوانات المخموجة سريعة التهيج وقلقة وعدوانية، وقد تقوم بتشويه ذاتها. ولكي تكتمل دورة حياته، فإن فيروس الكلَب يجب أن يشق طريقه إلى الغدد اللعابية والدمعية، ومن ثم يتابع نحو ضحاياه التالين. يهاجر الميكروب من الدماغ عبر أيّ عصب محيطي بما في ذلك الأعصاب المستقلة التي تربط الدماغ بالأعضاء الحيوية والغدد اللعابية والدمعية. ويحدث الموت نتيجةً لتوقف القلب أو السكتة الدماغية أو القصور التنفسي.

العصبي غير معروفة، كما أن الباحثين لا يفهمون تماما كيف يقتل الكَلَبُ مريضا. فقد يحدث الموت بطرق عدة: الصدمة أو توقف القلب أو الفشل التنفسي. وعلى ما يبدو فإن فيروس الكلَب قد يدفع الدماغ إلى تخريب أعضائه الحيوية، وهذه الملاحظة هي التي ألهمتنا علاج الفتاة <جينا>.

لقد تطور عند <جينا> [الطالبة الموهوبة والنجمة في فريق مدرستها الثانوية للكرة الطائرة] مرضٌ شبيه بالأنفلونزا في الشهر 2004/10، بعد شهر من تعرضها لتلك العضة. وبعد ذلك عانت فَقْد الإحساس في يدها اليسرى وضعفا في ساقها اليسرى وازدواج الرؤية. أُدخلت المستشفى المحلي في عطلة نهاية الأسبوع، ثم صارت **نوامية** lethargic وحركتها غير متناسقة، وهذه الأعراض نمطية لالتهاب الدماغ (وهو أمر شائع في الممارسة الطبية، ويحدث لدى عدة آلاف من المرضى سنويا في الولايات المتحدة)، الذي تسببه أنواع مختلفة من الفيروسات والبكتيرات، ولكنه قد يُستثار بواسطة استجابة مناعية تسلك مسلكا خفيا وتلهب الدماغ. ولأن تصوير دماغ <جينا> كان طبيعيا [لم يُبدِ أي سمة لالتهاب أو **سكتة دماغية** stroke]، خمّن أطباؤها أنها تعاني ذلك النوع من التهاب الدماغ نتيجة لما بعد الخمج أو نتيجة المناعة الذاتية. وبدا أنها قد تتطور نحو السبات وتحتاج إلى **التهوية الآلية**[1]، لذا حُوِّلت إلى مستشفانا.

لقد أوشكتُ مع زملائي أن نخفق في تشخيص الكلَب، لولا أننا تلقينا بعض المساعدة. فقد عاد طبيب <جينا> المحلي <H. دوناو> من عطلة نهاية الأسبوع، وقام بفعل ما يتعلمه طلبة الطب باعتباره أحد أساسيات الطب، ألا وهو تكرار أخذ التاريخ الطبي لما حدث لمريضته، وعلم بأمر الخفاش. وكان أخذ هذا التاريخ الطبي حاسما لنجاحنا، فقد اقترحت على الفريق الذي كان على وشك نقل <جينا> إلى مستشفانا استخدام معدات وقائية للاحتياط. ومع أن الباحثين ليس لديهم أي دليل على أن الكلَب يمكن أن ينتقل من إنسان إلى آخر، فإن دموع ولعاب الحيوانات المصابة بالكلَب تكون مملوءة بالفيروس، وتلوث الجروح أو الأغشية المخاطية (في العين والجهاز التنفسي والفم) هو الكيفية التي تُديم الكلَب في الطبيعة. لقد ارتدى أعضاء الفريق الطبي الذي كان يعتني بـ<جينا> أغطية واقية للرأس وأقنعة للوجه وأردية واقية وقفازات طوال الشهر الأول لمرضها. واقتضى تشخيص الكلَب تحليل عينات من لعابها وجلدها ودمها وسائلها الشوكي ثم إرسال تلك العينات جوًّا إلى قسم الكلَب في مركز مكافحة الأمراض والوقاية منها (CDC) بولاية أتلانتا، وبإمكان هذا المختبر تقديم النتائج الأولية في أقل من 24 ساعة.

في تلك الأثناء قمت بفحص <جينا>، وقد كانت نوامية، إلا أنها أدت الأوامر البسيطة، ولم يكن باستطاعتها استمرار الحفاظ على توازنها، وكانت تعاني ضعفا في ساقها اليسرى، وكانت **منعكساتها**[2] طبيعية، وهذا مكنني من استبعاد احتمال شلل الأطفال أو فيروس غرب النيل؛ كذلك كانت ذراعها اليسرى تنتفض بتقطع، وكان نمط الخدر في يدها اليسرى ونفض ذراعها اليسرى يرتبطان بموضع عضة الخفاش، ويقترح ذلك أن الكلَب أكثر من الأخماج الشائعة هو الذي يسبب التهاب الدماغ. ولأن الأطباء غالبًا ما يعاينون صورا غير نمطية لمرض شائع أكثر من مرض نادر حقا، فقد طمأنتُ عائلة <جينا> والممرضات بأنه من المستحيل تقريبا أن تكون <جينا> مصابة بالكلَب، وقد راهنتُ على نوع آخر من التهاب الدماغ، الأرجح أن يكون مناعيا ذاتيا، وهو أكثر انتشارا 1000 مرة من الكلَب.

وكان لدينا 24 ساعة لإعداد خطة في حال كنتُ مخطئا، وفي الوقت ما بين فحص الحالات الأخرى، كنت أركز على واحدة من ركائز مهنة الطب ألا وهي التعمّق في البحث عن الأشياء. لقد عرفت الحكمة الشائعة وهي أن الكلَب متى بدأ فلا يمكن لأي شيء أن يوقفه، لذا فقد كان محتما أن تكون <جينا> قد ماتت لو كان ذلك هو تشخيص حالتها؛ وكل ما كان بوسعنا عمله هو الإقلال من معاناتها. ولكنني أعرف أيضا أن الطب يتقدم دائما، لذا فربما «كان هناك شيء جديد. فالبحث في الإنتاج الطبي المتاح على **الإنترنت**[3] لم يظهر أي **حلول خارقة** breakthroughs، إلا أن التلكؤ ما بين

(1) **التهوية الآلية** mechanical ventilation: جهاز يساعد المريض على التنفس عندما يفشل في التنفس بذاته.
(2) استجاباتها الانعكاسية.
(3) online

كشف طبي ما ونشره قد يطول إلى 5 أعوام. لقد اتصلتُ بـ<كاثلين هانلون> [وهي خبيرة في الكلَب في المركز CDC] وتلقيت منها معلومتين مُحبطتين: الأولى، أن تاريخ مرض <جينا> وفحصها يبدوان كما لو كانت حالةَ كلَبٍ خاصة «بهانلون»، والأخرى، أنه لم يطرح أي شيء واعد في اللقاءات العلمية أو التجارب السريرية الجارية حديثا.

ولأن الوقت كان محدودا، فقد قررتُ اتباع خطة بحث مختلفة. فتقريبا لم ينجُ أحدٌ من الكلَب، لذا تجنبت ما نُشر عن كيفية معالجة المرض في الإنسان. والأبحاث بخصوص العلاجات تبدأ عادة بتأثير الأدوية في الڤيروسات المزروعة في أنابيب الاختبار. ومع أنها خطوة أولى ضرورية، فإن الأدوية التي تبدو واعدة في الدراسات الأولية عادة ما تكون سامة أو لا يمكن إعطاؤها بكميات كافية في موضع الخمج. والشيء الذي شد انتباهي عندما نظرت فيما تبقى من مقالات هو ذلك اللغز الذي حيَّر خبراء الكلَب لأكثر من 30 عاما؛ فمرضى الكلَب يموتون تقريبا دون أي علة ظاهرة في دماغهم. وبالقدر نفسه من الأهمية عندما يموت مرضى الكلَب بعد أسابيع من الرعاية المكثفة فإن الڤيروس لا يمكن العثور عليه في أجسامهم، فالجهاز المناعي يتخلص من الڤيروس مع الوقت، إلا أن الإزالة تحدث ببطء شديد بحيث لا تنقذ حياة المرضى.

ومن هاتين الحقيقتين ارتجلنا استراتيجيتنا وخطتنا، فڤيروس الكلَب يستطيع (على ما يبدو) أن يُكره الدماغ على قتل الجسد دون أن يؤذي نسيج الدماغ ذاته مباشرة. فإذا تمكنا من تعطيل الخلل في وظيفة الدماغ بالاستخدام الحذر للأدوية، بحيث نضع الفتاة <جينا> في حالة فقدان وعي طويلة، فقد نحدُّ من الدمار المحيق بجسمها، وربما أبقيناها حية مدةً طويلة كافية، بما يسمح لجهازها المناعي اللحاق للقيام بدوره كاملا.

ولاختيار أي عقاقير لها مدلول أوضح، فتشتُ في الأدبيات الطبية عن دراسات تربط الكلَب **بالنواقل العصبية** neurotransmitters (وهي تلك الكيماويات التي يستخدمها الدماغ لنقل الإشارة ما بين الخلايا) أو **بالحماية العصبية** neuroprotection (وهو ذلك العلم الذي يستخدم الأدوية أو غيرها من تدخلات لحماية الدماغ من الأذى). وقد كشف تفتيشي هذا عن بحثين مذهلين لـ<H. تسيانك> وزملائه [من معهد لويس پاستور في باريس]. ففي أوائل التسعينات من القرن الماضي قدم <تسيانك> وزملاؤه تقريرا يفيد أن بمقدور الكيتامين (وهو مخدر) أن يثبط ڤيروس الكلَب في العصبونات القشرية بالجرذان. وكان هذا البحث مطمئنا لثلاثة أسباب: الأول، أن البحث بيّن أن الكيتامين يؤثر بشكل جوهري في دورة حياة الڤيروس، في حين ينتسخ الڤيروس مادته الجينية داخل العصبونات [*انظر المؤطر في الصفحة 32*]؛ والثاني، أن الدواء يعيق فقط ڤيروس الكلَب دون غيره من الڤيروسات، وهذا يرجح أن تأثير العقار ليس نتيجةً سمية عامة للحيوان؛ والأخير أن عقارا مشابها، ولكنه أكثر سمية ويسمى MK 801، يثبط أيضا الكلَبَ في عصبونات الجرذان، لذا فإن هذه الفائدة تنطبق على الأرجح على صنف بأكمله من المركبات.

لقد استخدم الجراحون، لأكثر من 25 سنة، الكيتامينَ لإحداث حالة فقدان الوعي أو لإبقائها لدى مرضاهم، مع أنه قد تم استبدال العقار على نطاق واسع نظرا لآثاره الجانبية الهلوسية

المعالجة التي أنقذت حجينا>(*)

في يوم 2004/10/19، بعد يوم من وصول <جينا كَيسي> إلى مستشفى الأطفال في ميلووكي، أكد الأطباء أنها مصابة بالكلَب واستخدموا الكيتامين والميدازولام لإبقائها في حالة سبات. وعلى مدى الأسابيع الستة

تبدأ العلاج بالبيوبترين

تُطعم نفسها

تتكلم كلاما مفهوما

1/1: جينا> تغادر المستشفى

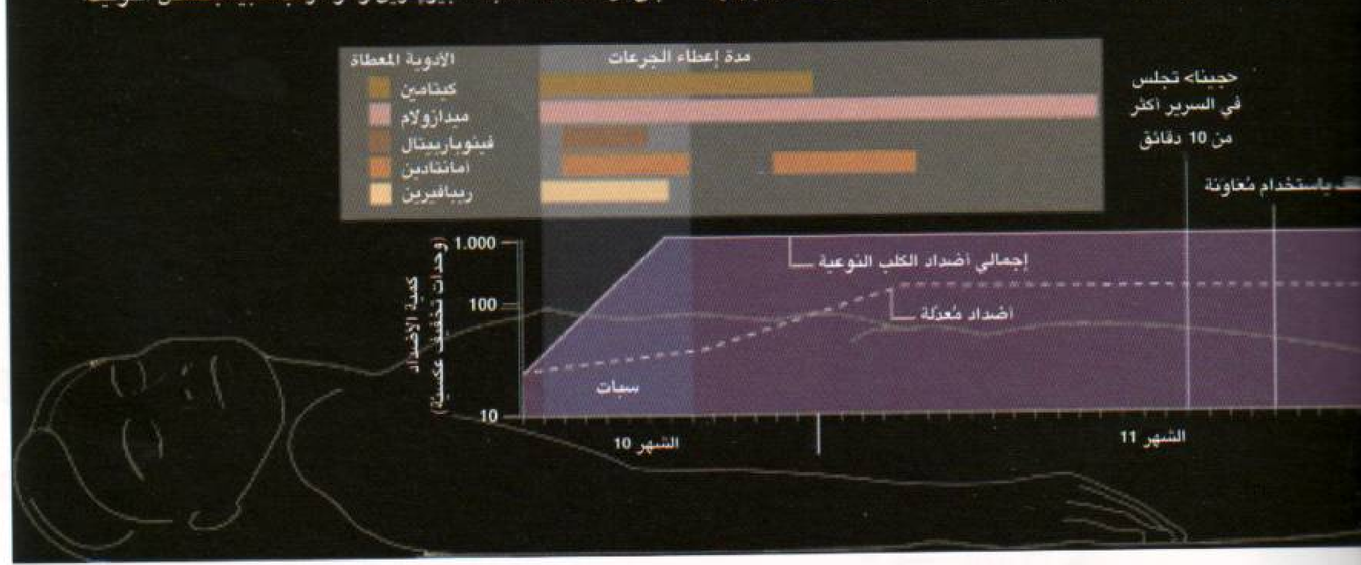
الشهر 12

(الهذيانية)، (والذين يستخدمون العقار بصورة غير مشروعة للاستمتاع يسمون الكيتامين: K المفضّل). والمثير للاهتمام أن الآثار الجانبية للكيتامين تقدّم، على ما يبدو، ميزة أخرى محتملة لمرضى الكلَب: فالكيتامين يعمل واقيا عصبيا عن طريق إحصار بروتينات غشائية تسمى **مستقبلات كلوتامات NMDA** NMDA glutamate receptors، وهذه بإمكانها قتل العصبونات بعد أن تصير فائقة النشاط عقب سكتة دماغية أو أي نوع آخر من إصابة للدماغ. وتصوّروا دهشتي عندما قرأت عن دواء قد يسهم في تثبيط الدماغ الذي به خللٌ، في حين ينشّط، في الوقت ذاته، إزالة ڤيروس الكلَب ويحمي الدماغ من المزيد من الأذى!

قرار يائس(**)

وبصفتي استشاريا للأمراض الخمجية (المُعدية)، لم تكن عندي المهارة لوضع <جينا> في حالة سبات بطريقة آمنة. لذا فقد طبقتُ ركيزةً أخرى من ركائز الطب: اطلبْ المساعدة. وقد كنت جديدا في مستشفى الأطفال، لذا فقد طلبت إلى <J.M. تشوسيد> [وهو استشاري للأمراض الخمجية أعلى مرتبة] أن يساعدني على إيجاد اختصاصيين في حماية الدماغ. ولحسن الحظ كان جميع الخبراء موجودين في ذلك اليوم. فقد كانت <K. تيفيز> و <N. غُنيّم> [ولهما خبرة في تقليل أذى الدماغ عقب الرض وعقب جراحات القلب المفتوح] مناوبتين في وحدة العناية المشدّدة (المركزة) عندما وصلت <جينا>. وقد تضمن فريقنا أيضا <C. إميلي-ليفوند> [وهي طبيبة أعصاب متخصصة في خمج الڤيروسات] و<M. شواب> [الخبير في الصرع والذي كان بمقدوره تزويدنا برصد مستمر لموجات الدماغ للتحكم في السبات] و<G. هوفمان> اختصاصي التخدير للفريق الذي تعرَّف خطتنا لإحداث السبات باعتبارها ممارسة نمطية لحالات مرضية أخرى.

(*) THE TREATMENT THAT SAVED JEANNA
(**) A Desperate Decision



التالية أعطوها فينوباربيتال (مُركِّن) وأمانتادين (عنصر مضاد للفيروسات يساعد على حماية الدماغ) وريبافيرين (دواء مضاد للفيروسات عموما). وعندما خرجت <جينا> من حالة السبات كان جهازها المناعي ينتج كميات كبيرة من الأضداد المقاومة للكلَب ولاسيما الأضداد المُعدِّلة التي تمنع الفيروس من غزو خلايا جديدة. ولكن شفاءها كان بطيئا إلى أن أعطاها الأطباء البيوبترين وهو مركّب شبيه بحمض الفوليك.

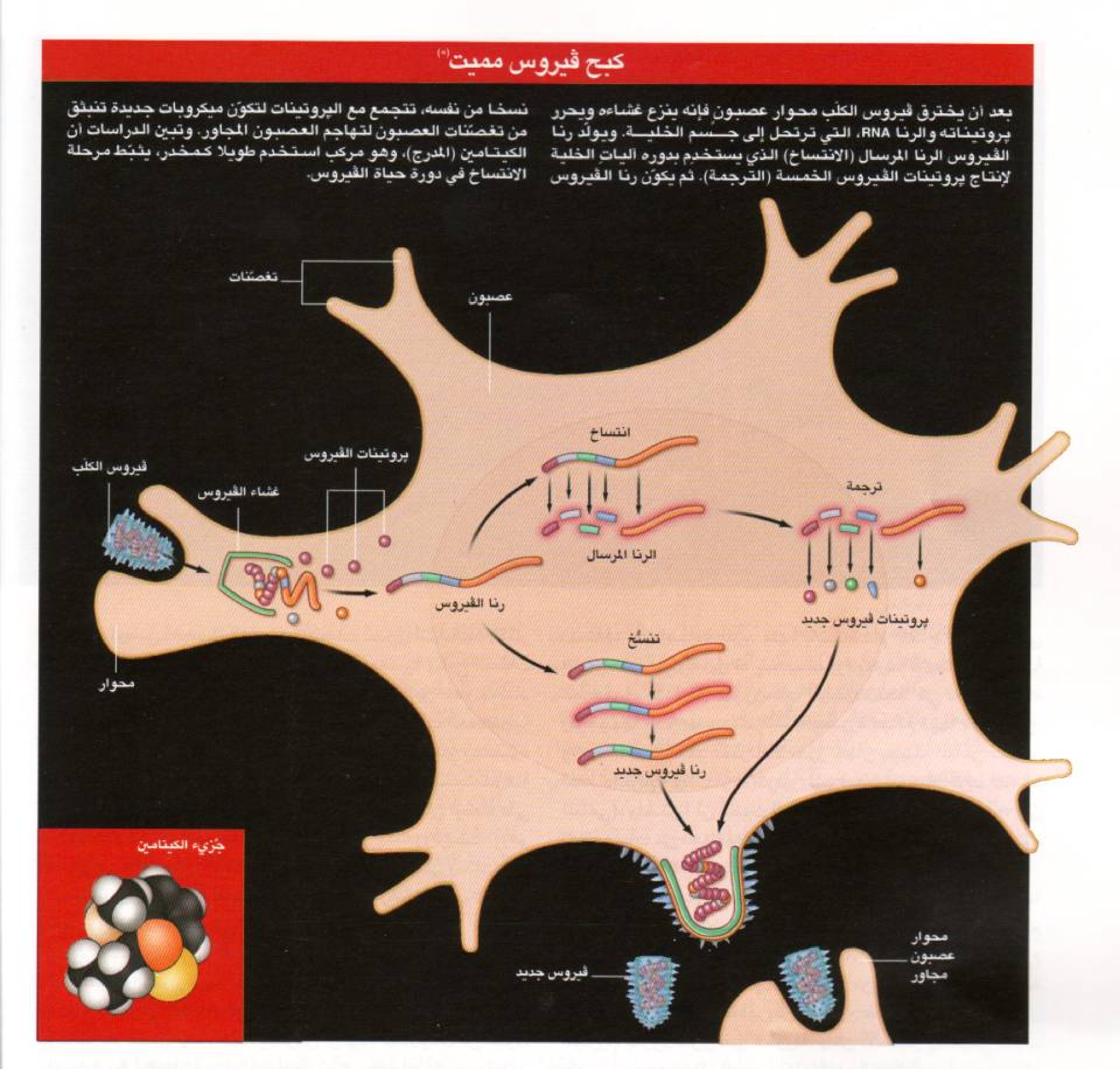
لقد أوصى أعضاء الفريق بعلاجات أخرى لتخفيف الآثار الجانبية للكيتامين ومنح المزيد من الحماية العصبية وبلوغ السبات الذي هو هدفنا العلاجي. وكذلك أوصوا بالأمانتادين، وهو مضاد للفيروسات وقد يساعد أيضا على إعاقة المستقبلات العصبونية NMDA، فيرتبط بها في موضع مختلف عن ذلك الذي يحصره الكيتامين. وكذلك الميدازولام (وهو مهدئ من مجموعة البنزوديازيبين) والفينوباربيتال، اللذان قد يساعدان أيضا على إيقاف نشاط دماغ <جينا>. فيما بعد اقترح <C.روبريخت> [وهو خبير في الكلَب بالمراكز CDC] إعطاء مضاد عام للفيروسات وهو الريبافيرين، مع أنه قد سبق تجربته على مرضى الكلَب دون أي نجاح، ولكننا دائما نصغي للأشخاص البارعين.

إن وجودَ وفرةٍ من الاستشاريين في كل تخصص أتاح لنا نقدَ الفرضية، والتقرير فيما إذا كان من الأمان أن نتابع. فعندما تُجرَّب أشياءُ جديدة في الطب أو البيولوجيا (علم الحياة) فإنها عادة ما تفشل وغالبا ما تسبب ضررا. لذا يُفترض أن تبدأ العلاجات من أنبوب الاختبار، إلى الدراسة على الحيوانات، ثمّ إلى التجارب السريرية. لقد بدَت فرضيتي بسيطة جدا، وقد تسبب نتيجة طبية أسوأ حتى من الموت: فأربعة من كل خمسة ناجين محصنين من الكلَب انتهوا بإعاقات خطرة. لقد اجتمعنا مدة ساعة بعد أن أكّد <روبريشت> أن <جينا> مصابة بالكلَب. وقد أبلغنا والديها بالتشخيص وشرحنا لهما الخيارات التقليدية، ثم اقترحنا عليهما علاجنا. ولأن موت <جينا> كان محتما فقد طلب والدا <جينا> إلينا أن نجرب شيئا جديدا، بحيث يكون هناك المزيد من المعرفة لصالح الطفل التالي المصاب بالكلَب.

وقد قدرنا أن الجهاز المناعي لـ<جينا> قد يحتاج ما بين 5 و 7 أيام لإنتاج الأضداد التي تستهدف فيروس الكلَب، ومن خبرتنا من حالات الكلَب السابقة لدى البشر، علمنا أن الاستجابة المناعية العصبية ستكون عنيفة بمجرد أن تُستثار. وأخذنا في الاعتبار أن دماغ <جينا> مملوء فعلا بفيروس الكلَب. لذا، فمن غير المحتمل أن نستفيد من إضافة المزيد منها باستخدام اللقاح المحتوي على الفيروسات المقتولة، بل قد يسبب ضررا بحرفِ الاستجابة المناعية الطبيعية بعيدا عن الفيروسات الموجودة فعلا في دماغ <جينا> وتوجيهها نحو المتحولات المُمثَّلة بصورة مبالغ فيها في اللقاح. ولأسباب مماثلة فقد اخترنا ألا نعزز جهاز <جينا> المناعي بحقنها أضدادا نوعية للكلَب أو الإنترفيرونات (وهي پروتينات تزيد النشاط المناعي)، واخترنا أن نُحدِث السباتَ في <جينا> لمدة أسبوع، وأن نحلل عينات من دمها وسائلها النخاعي على امتداد تلك الفترة للتأكد من أنها تنتج أضدادها الخاصة.

ومع أن الفوضى العارمة تميز الرعاية النهائية للكلَب (بما فيها تأرجحٌ عنيفٌ في معدل نبضات القلب وضغط الدم)، فإننا لم نصادف أي انتكاسات رئيسية أثناء سبات جينا. وبانتهاء الأسبوع بدأ جسمها بإنتاج كميات كبيرة من الأضداد **المُستعدِلة** neutralizing التي تمنع الفيروس من غزو خلايا جديدة وربما تزيل الميكروبَ بطرق أخرى غير معروفة. ولكن الاختبار الحقيقي سوف يأتي يوم نعيد <جينا> للوعي. وكان اليوم الذي أخرجنا فيه <جينا> من السبات أسوأ يوم في حياتي؛ فقد كانت <جينا> مشلولة تماما وعديمة الاستجابة، ولم يكن لدينا أي فكرة عما إذا كانت حية أو ما الذي سيحدث بعد ذلك، ولكننا كنا نعلم أن مرضى الكلَب قد يبدون خطأ موت الدماغ، لذا لم نفقد الأمل. وفي اليوم التالي حاولت <جينا> أن تفتح عينيها. وفي وقت لاحق تطورت لديها استجابة انعكاسية في ساقيها. وبعد ستة أيام كانت تديم النظر إلى وجه أمها (مُفضّلة إياه على وجهي) وتفتح فمها لتساعد ممرضتها على تنظيفه. وبعد 12 يوما أمكنها الجلوس في سريرها.

إن الشلل التام يتسبب في حالة حادة من زوال التكيّف في الجسم، فالقوة والقدرة على الاحتمال والتكيف تكون كلها مفقودة، إضافة إلى قابلية البلع والكلام. لقد استحوذ شفاء <جينا> على قدر هائل من العمل الشاق، ففي الشهرين الأولين تعرّضت لتأخير مربك؛



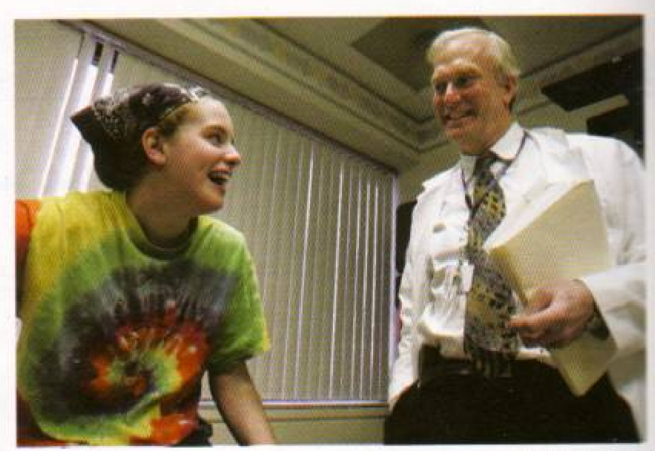
كبح ڤيروس مميت(*)

بعد أن يخترق ڤيروس الكلَب محوار عصبونٍ فإنه ينزع غشاءه ويحرر پروتيناته والرنا RNA، التي ترتحل إلى جسم الخلية. ويولّد رنا الڤيروس الرنا المرسال (الانتساخ) الذي يستخدم بدوره آليات الخلية لإنتاج پروتينات الڤيروس الخمسة (الترجمة). ثم يكوّن رنا الڤيروس نسخا من نفسه، تتجمع مع الپروتينات لتكوّن ميكروبات جديدة تنبثق من تغصّنات العصبون لتهاجم العصبون المجاور. وتبين الدراسات أن الكيتامين (المدرج)، وهو مركب استخدم طويلا كمخدر، يثبّط مرحلة الانتساخ في دورة حياة الڤيروس.

فمثلا أحرزت تقدما سريعا في المشي وأداء التمرينات ولكنها لم تكن قادرة على الكلام أو البلع. وتبقّت لديها مشكلات أخرى، مثل تراكم حامض اللبن في جسمها والذي جعلني أفكر في الاضطرابات الاستقلابية (الأيضية). وفي استشارة مع <W. ربيد> [وهو المختص في علم الجينات بمستشفانا] شخّصنا الحالة على أنها عوز مكتسب **للبيوپترين** biopterin. ويشبه البيوپترين كيماويا حمض الفوليك وهو الڤيتامين B الأساسي لنمو الخلية. والمركب موجود بكميات محدودة في الدماغ، حيث هي حاسمة لإنتاج النواقل العصبية، مثل الدوبامين والإيبنفرين والنورإيبينفرين والسيروتونين والملاتونين. ويتحكّم البيوپترين في كيفية صيانة أحد إنزيمات الدماغ (سينثيتاز أكسيد النيتريك العصبوني) لتوتر الأوعية الدموية المغذية للدماغ. وفي الحقيقة أدركنا أن الكميات الضئيلة من البيوپترين بإمكانها أن تفسر معظم أعراض الكلَب عدا التأثيرات الأخيرة في الأعصاب المحيطية.

لقد كان ذلك انفراجا مذهلا، لأن البيوپترين متاحٌ كإضافة تؤخذ بالفم. وبعد حصولها على البيوپترين استطاعت <جينا> الكلام والبلع مرة أخرى. وقد أتاح التحسن السريع لها أن تغادر المستشفى يوم 2005/1/1، قبل ثلاثة أشهر من الموعد الذي كان متوقعا لها. وأثبتنا من حينها أن عوز البيوپترين قد ظهر في مريض الكلَب الوحيد الآخر الذي حُفظت منه عينات بطريقة مناسبة. ونحن نختبر احتمال وجود مستويات منخفضة من البيوپترين في الأنواع الأخرى من الحيوانات الأخرى المخموجة بالكلَب. فإذا كان الأمر كذلك فإن العوز قد يساعد على تفسير الكيفية التي يخرب بها الڤيروس الجسمَ. أما لماذا يخفّض الكلَب

(*) CURBING A DEADLY VIRUS



شفاء استثنائي: <جينا كيسي> (تظهر مع المؤلف) تتخرج في المدرسة الثانوية هذا العام وتأمل أن تصير طبيبة بيطرية. والأشياء التي تُذكّر بصراعها مع الكلَب هي خدر في إصبعها المعضوضة وتغيُّرٌ في قوة ذراعها اليسرى وخطوة أوسع عندما تجري.

البيوبترين (ومعظم أخماج الدماغ تزيده) فهو أمر غير واضح. وقد أعددنا العدة لاختبار ومعالجة عوز البيوبترين في مرضى الكلَب المستقبليين الذين يتلقون بروتوكول ميلووكي.

خلاف يمكن البحث فيه(*)

في الذكرى السنوية الأولى لتشخيص الكلَب لديها، حضرت <جينا> لقاءً دوليا للباحثين العلميين عن الكلَب (عُقد في كندا) كضيفة شرف في حفل العشاء الاحتفالي، حيث ألقت كلمة. وقد عادت للالتحاق بزملائها الأصليين في السنة الأولى بمدرستها الثانوية وحصلت على علامات ممتازة، وكذلك حصلت على تصريح قيادة سيارة مؤقت. وكانت الأشياء التي تخلّفت من صراعها مع الكلَب هي: رقعة صغيرة من الخَدَر في إصبعها التي عضها الخفاش وتغيُّر في توتر ذراعها اليسرى وخطوة أوسع عندما تجري. وقد تخرَّجت في مدرستها هذا العام، وتأمل أن تصبح بيطرية.

ولكن هل بإمكان بروتوكول ميلووكي إنقاذ أي أرواح أخرى؟ لقد استُخدمت هذه المعالجة ست مرات خلال العامين الماضيين من دون أي نجاح يذكر في ألمانيا وإيطاليا والهند وتايلاند والولايات المتحدة. ولسوء الحظ فإن العديد من المحاولات خالفت افتراضات جوهرية في نظريتنا أو أنها لم تستخدم معظم الأدوية في نظام <جينا>. إن المجتمع الطبي كان ممانعا لتكرار علاجنا، وكان هناك بعض الخبراء الذين عارضونا علانية. إن هذه المقاومة مفهومة، لأن بقاء <جينا> على قيد الحياة كان يعارض الدراسات المختبرية التي تبيّن أن فيروس الكلَب يقتل خلايا الدماغ، ولكن هذه الدراسات قد تكون مضللة لأن سلالات الكلَب في المختبر قد تكون أكثر قابلية لإحداث موت الخلايا من الفيروسات التي تجول في الطبيعة.

وقد جادل خبراء آخرون بأن <جينا> بقيت حية لأنها خُمجت بسلالة ضعيفة على نحو غير عادي من الكلَب. وهذا النوع من الجدل من الصعب الرد عليه، لأننا لم نعزل عينات من الفيروس من جسم <جينا> (وقد حصلت المراكز CDC على أضداد نوعية للكلَب من <جينا> وليس على الفيروس نفسه، لأنه من الصعب عزله). وتحليل فيروس الكلَب الذي يحمله الخفاش يبين أنه مختلف عن تلك السلالات الموجودة في الكلاب وعنده نزوع أكبر للتضاعف في الجلد عوضا عن العضلات، ولكن فيروس الخفاش ليس أقل قتلا من **نسخة الكلبيات** canine version.

وربما تكون أفضل طريقة للرد على تلك التهم هي تطبيق علاجنا على الحيوانات المصابة بالكلَب لتعيين الأجزاء الحاسمة في هذا البروتوكول (إحداث السبات أو الأنشطة المضادة للفيروسات أو تعطيل المستقبلات NMDA) من أجل مكافحة الكلَب. وقد طلبنا إلى ست كليات للطب البيطري أن تسمح بهذه الدراسات، ولكن المسؤولين في هذه الكليات كانوا يخشون معالجة حيوانات مصابة بالكلَب في وحدات العناية المركزة لديهم. إن قلة مواصلة الأبحاث هي خسارة عالمية، لأنه لا يمكننا معرفة فيما إذا كانت استراتيجيتنا فاعلة حتى يجربها الآخرون. فإذا ما أمكن تكرار نجاحنا فسوف يتمكن الباحثون من تعيين أي الأدوية هو فعالٌ وبأي جرعة، وفيما إذا كان بإمكان البيوبترين تقليص فترة النقاهة بشكل ذي دلالة. إضافة إلى ذلك، على الأطباء إيجاد طرق لتخفيض تكلفة العلاج وإعادة التأهيل (والتي بلغت 800 000 دولار على الأقل في حالة <جينا>) لجعلها ممارسة مقبولة في الدول النامية، حيث لا يزال الكلَب أكثر شيوعا. وسيكون أمرا غير معقول أن تتحول نسبة الوفيات من الكلَب من 100% إلى شفاء 100%، ولكن لدينا الآن على الأقلّ الفرصة لتحسين هذه الاحتمالات. ■

(*) A Curable Controversy

(١) **سابقات المضادات الحيوية** probiotics، أو سابقات الصادات.

(٢) **شبكة ميراكل (المعجزة) للأطفال** The Children's Miracle Network: هي الاتحاد الرئيسي لمستشفيات الأطفال الرئيسي، وهي مؤسسة غير ربحية تسعى لتأمين الدعم المالي لمئة وسبعين مستشفى للأطفال في أمريكا الشمالية.

المؤلف

Rodney E. Willoughby, Jr.

أستاذ مشارك في طب الأطفال بكلية الطب في ويسكونسن واستشاري الأمراض الخمجية (المُعدية) بمستشفى الأطفال في ويسكونسن. وهو خريج جامعة برينستون وكلية طب جون هوبكنز مع تدريب ما بعد الدكتوراه في طب الأطفال وأمراض الأطفال الخمجية والكيمياء الحيوية للسكريات والاستقصاءات السريرية. وتتضمن اهتماماته البحثية الكلَب والشلل الدماغي وتدوير المضادات الحيوية (الصادّات) وسابقات المضادات الحيوية(١) للإقلال من الخمج المقاوم للمضادات الحيوية في المستشفيات. وتلقّى في عام 2006 جائزة الإنجاز من شبكة ميراكل للأطفال(٢).

مراجع للاستزادة

Inhibition of Rabies Virus Transcription in Rat Cortical Neurons with the Dissociative Anesthetic Ketamine. B. P. Lockhart, N. Tordo and H. Tsiang in *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, Vol. 36, No. 8, pages 1750–1755; August 1992.

Prophylaxis against Rabies. C. E. Rupprecht and R. V. Gibbons in *New England Journal of Medicine*, Vol. 351, No. 25, pages 2626–2635; December 16, 2004.

Survival after Treatment of Rabies with Induction of Coma. R. E. Willoughby, Jr., K. S. Tieves, G. M. Hoffman, N. S. Ghanayem, C. M. Amlie-Lefond, M. J. Schwabe et al. in *New England Journal of Medicine*, Vol. 352, No. 24, pages 2508–2514; June 16, 2005.

More information about rabies and the Milwaukee protocol is available at www.mcw.edu/rabies

Scientific American, April 2007

ثدييات أمريكا الجنوبية المفقودة(*)

توضح الاكتشافات الأحفورية المدهشة في جبال الأنديز التشيلية وجود مجموعة غير متوقّعة من ثدييات فريدة كانت يوما ما تتجوّل في أمريكا الجنوبية. وقد قلبت هذه الاكتشافات معرفة كانت راسخة حول التاريخ الجيولوجي لهذه القارة.

<J .J. فلاين> ـ <R .A. وايس> ـ <R. تشارير>

على أطراف سهل عشبي منبسط يرعى بهدوء وفي غفلة عن قدرها المُهدِّد، زوج من **الحيوانات الحافرية** hoofed grazers التي تشبه الخيول وأحد الحيوانات الحافرية القديمة التي تشبه الظباء **والكسلانيات**(1) **الأرضية** ground sloth. ويشاركها الغفلة في الجوار حيوان **الشينشيلا**(2) chinchilla وحيوان **كيسي** marsupial صغير كالجرذ يقضم البذور. وفجأة ينفجر في الأفق بصورة كارثية بركان مغطّى بالثلوج، مرسلا فيضا من الرماد الطيني نحو منحدراته الشديدة. وبعد ذلك يتدفق هذا الطين المضطرب بسرعة عبر الأراضي المنبسطة دافنا في طريقه الحيوانات غير المتنبهة له.

وبقدر ما كان الخراب الناتج من هذا التدفق البركاني مدمرا للكائنات التي دفنها، فإنه قد أصبح هدية لعلم الأحافير (الپاليونتولوجيا). وبعد عشرات ملايين السنين من الموت غير المتوقع لهذه الثدييات، فإن القوى البانية للجبال وعمليات التحات التي تبعتها قد عرّت بقايا هياكلها الأحفورية فأصبحت واضحة في ضوء النهار في مرتفعات جبال الأنديز بأواسط تشيلي. وقد اكتشف فريقنا أول هذه العظام في عام 1988 بينما كنا نفتّش عن بقايا الدينوصورات في أحد الأودية الرافدة **لنهر تنكويريريكا** Tinguiririca River قرب الحدود مع الأرجنتين. وثبت أن الاكتشاف الأولي لعظام الثدييات كان مثمرا إلى أبعد الحدود، فقد عدنا إلى المنطقة من حينها كل عام تقريبا. ومنذ ذلك الحين وحتى الآن اكتشفنا أكثر من 1500 أحفورة من الثدييات القديمة من عشرات المواقع في أواسط جبال الأنديز التشيلية.

لقد أدّى التحليل المختبري المضني لمجموعة عيناتنا المتنامية إلى إظهار أسرار رئيسية من تاريخ الثدييات القديمة لأمريكا الجنوبية. والشيء المدهش أنّ عمر الأحافير التشيلية يراوح بين 40 مليون و 10 ملايين سنة ـ وهو أحدث كثيرا ممّا توقعناه. وبالفعل، فإن الكثير من العينات يمثل البقايا الثديية لأجزاء فقط من تلك الفترة الزمنية الموجودة في كل مكان في أمريكا الجنوبية. وقد أضاءت بعض هذه الأحافير الفريدة فترة مظلمة سابقا من تاريخ سلالات الثدييات الأصلية في هذه القارة؛ في حين ساعدت أحافير أخرى على حل الجدل المديد حول منشأ الجماعات المهاجرة الأساسية. وقد صحح هذان النوعان من الأحافير فهمنا للزمن الذي ظهرت فيه بعض النظم البيئية والزمن الذي تشكلت فيه الجبال نفسها ـ في هذا الجزء من العالم.

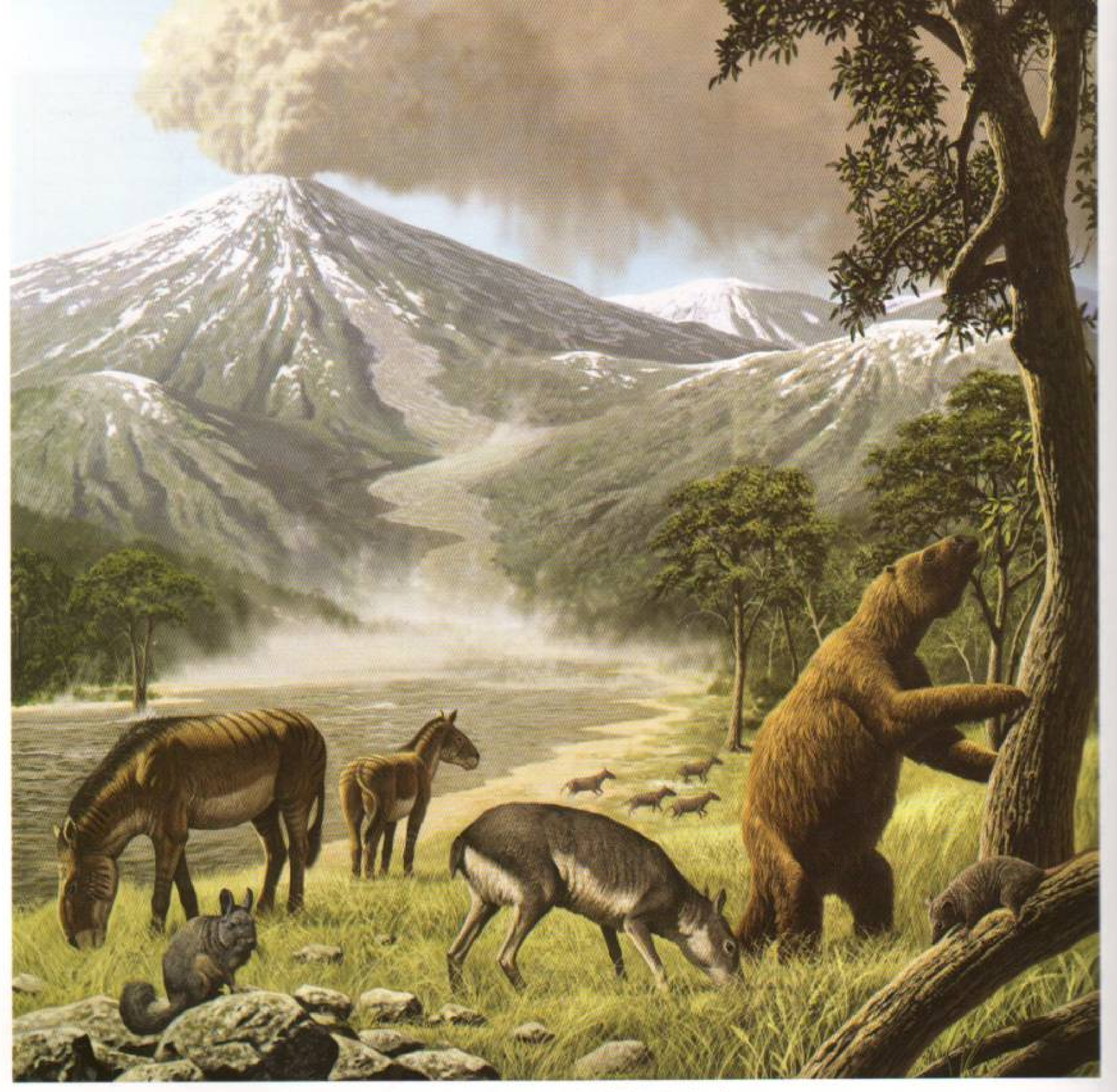
اكتشاف مضنٍ(***)

يستند معظم ما يعرفه العلماء عن الثدييات القديمة في أمريكا الجنوبية إلى إشارات اكتشفت في الأطراف الجنوبية البعيدة من القارة وبخاصة في منطقة **پتاكونيا**(3) Patagonia. تحوي هذه المناطق

(*) South America's Missing Mammals
(**) Overview/ Fossils Galore
(***) Tantalizing Discovery
(1) الكسلانيات: ثدييات تعيش على الأشجار وتنتمي إلى رتبة الدرد.
(2) حيوان من القوارض بحجم أرنب وله ذنب طويل، يعيش في أمريكا الجنوبية.
(3) الجزء الجنوبي من الأرجنتين. (التحرير)

نظرة إجمالية/ فيض من الأحافير(**)

- إن عينات أحافير الثدييات، التي تربو على 1500 عينة، المكتشفة في أواسط جبال الأنديز التشيلية تتضمن مجموعة استثنائية من الأنواع الجديدة، إضافة إلى أقدم بقايا القوارض المعروفة في قارة أمريكا الجنوبية.
- تُجسّر هذه الأحافير، التي يراوح عمرها بين 40 مليون و 10 ملايين سنة، الثغرات في التاريخ المعروف لثدييات أمريكا الجنوبية الاستثنائية.
- توثّق بعض هذه الأحافير وجود مراع يعود عمرها إلى 32 مليون سنة، وهي تسبق أمثال هذه الأنظمة البيئية في اي مكان آخر في العالم بنحو 15 مليون سنة.



في هذه اللوحة الفنية تبدو ثدييات غريبة قطنت يوما أمريكا الجنوبية، وهي ترعى غافلة عن فيض عنيف من الرماد البركاني الطيني سيأتي فجاة من بركان مجاور ويؤدي إلى هلاكها.

تكشفات كثيرة لصخور مثالية حاملة للأحافير كالغضار والحجر الرملي وتشكلات أخرى متصلبة ترسبت في بيئة الأنهار وسهولها الفيضية. وقبل زيارتنا الأولى إلى تشيلي، لم يفتّش الباحثون بصورة منهجية عن أحافير الحيوانات البرية في المناطق الجبلية لذلك البلد، لأنّ معظم صخورها صخور بركانية. (إذ من المفترض أن تكون **اللابات**[1] والمواد المندفعة من البراكين حارة جدا ومخربة لا تتيح حفظ البقايا العضوية).

ومع ذلك قرّرنا أن نجرّب حظنا في أن وادي «تنگويريريكا» يمكن أن يحوي أحافير خاصة عندما علمنا من تقرير عن وجود آثار أقدام الدينوصورات فيه. كان عمر الصخور هو العمر الصحيح نفسه - فقد افترض الجيولوجيون حينذاك أنّ عمر معظم الصخور على امتداد سلسلة جبال الآنديز التشيلية يعود على الأقل إلى ما قبل 65 مليون إلى 100 مليون سنة، أي إلى الجزء الأخير (الأحدث) من **حقب الميزوزوي**[2] Mesozoic، وهو الزمن الذي وصلت فيه الدينوصورات إلى أوج تطورها. لقد علمنا أنّ أيا من الرواسب التي تحوي آثار أقدام لا بدّ وأن تحوي أيضا بقايا عظمية من الحيوانات التي تركت آثار أقدامها. فإذا كنا محظوظين جدا وراقبنا الأرض جيدا، فإننا قد نجد أحفورة من الثدييات الصغيرة التي عاصرت الدينوصورات والتي لم تكن أكبر من **الزبّابة** shrew (ثديي من أكلات الحشرات).

وفي اليوم الأخير من رحلة استطلاع دامت أسبوعا عام 1988، انقسم فريقنا المكون من أربعة باحثين لاستكشاف المنحدرات الشديدة المحيطة بجانبي نهر «تنگويريريكا». ومباشرة تقريبا، وصل الاثنان اللذان يعملان شمال النهر إلى طبقة

(١) لابة Lava جمعها لابات.
(٢) حقب الحياة المتوسطة. (التحرير)

اكتشاف الأحافير(*)

أعطت أكثر من دزّينة من المواقع في جبال أنديز وسط تشيلي، ومن ضمنها المواقع المشار إليها في *اليسار (بنقاط)*، مئات من أحافير الثدييات منذ أن اكتشف المؤلفون في البداية تراكما لعظامها في وادي «تنكويريريكا Tinguiririca» في عام 1988. وهذه البقايا الثديية القديمة التي يراوح عمرها ما بين 40 مليون و 10 ملايين سنة هي الأولى التي وُجدت في هذه المنطقة من أمريكا الجنوبية. وإنّ معظم أحافير القارة من الثدييات يأتي من منطقة أبعد نحو الجنوب في باتاكونيا Patagonia. وقد حفظت البقايا في رواسب بركانية من تشكيلة أبانيكو Abanico *(اللون البني)* التي تنكشف على مساحة آلاف الكيلومترات المربّعة من أراض شاهقة شديدة الانحدار.

الرواسب التي تحمل آثار الديناصورات، وتابعا بعد ذلك المسير نحو أعالي الوادي بحثا عن رواسب أخرى يحتمل أن تحوي أحافير. ولكن ما خيّب آمالهم أنّ الأحافير الوحيدة التي وجدوها كانت أحافير الأسماك والأمونيتات ومخلوقات بحرية أخرى ـ ولكنهم لم يجدوا زواحف أو ثدييات. وفي الوقت نفسه عاش أعضاء الفريق الذين يعملون جنوب النهر يوما عصيبا مشابها. ولكن ارتفعت معنوياتهم عند عصر ذلك اليوم عندما لمحوا بضعة أجزاء من العظام والأسنان من بقايا الأحافير تبرز من بقعة كبيرة من رواسب بركانية بنية اللون مائلة إلى الاحمرار تقع على ارتفاع 1000م فوق قاع الوادي. وقد أوضح الفحص أنّ الأحافير كانت لحيوانات فقارية برية بحجم الحصان الصغير تقريبا.

في البداية، حاولنا أن نقحم هذه الأجزاء الأحفورية في الفكرة السائدة عن عمر الصخور ـ حيوانات بهذا الحجم يجب أن تكون دينوصورات أو وحوش **ميزوزوية**(1) غريبة أخرى. ولكن ثمة قصة مختلفة يكشف عنها وجود الأسنان المتمايزة المعقّدة مع طواحن (أضراس) ذات تيجان مرتفعة مستوية القمة ومتعددة الوجوه التي تمتاز بها بعض الثدييات. لقد كانت هذه الثدييات بكل وضوح كبيرة ومتطورة إلى حد بعيد لا يمكن معه أن تكون قد عاشت قبل 50 مليون سنة. ويبدو أن الجيولوجيين كانوا بعيدين كل البعد في تقديرهم لعمر هذه الصخور. وبالفعل، فقد أثبتت التحاليل اللاحقة أنّ الأحافير الجديدة قد جاءت من حقب **السينوزوي**(2) Cenozoic، وهي الفترة الزمنية الراهنة من تاريخ الأرض التي بدأت عندما انقرضت الدينوصورات **اللاطيرية** nonavian قبل 65 مليون سنة. (تُعرف الطيور الحالية بأنّها **تيروبودات** theropods، وبذلك فإنّها تمثّل مجموعة من الدينوصورات التي لاتزال على قيد الحياة).

مجموع حيواني جزيري(**)

يعد اكتشاف أي نوع من الأحافير أخبارا عظيمة لنا. فإن كانت من الثدييات ـ وبصورة غير متوقعة من الثدييات الحديثة ـ كان ذلك أكثر من كاف لحفزنا إلى أن نركز موسمنا الميداني التالي على تلك البقعة بعينها. لقد عدنا ثانية إلى وادي تنكويريريكا في الصيف الجنوبي من عام 1989، بعد أن ذابت ثلوج الجبال العالية بصورة تتيح للسلطات المحلية إعادة بناء طريق الوصول الضيقة التي تتهدّم كل فصل ربيع تقريبا. وفي هذه الرحلة وصلنا إلى موقع الأحافير صباح يوم مشمس صاف من أيام الشهر الأول من العام، مع طاقم مؤلّف من سبعة علماء وتجهيزات حملة كاملة. وبسرعة أنزلنا حمولة الحيوانات ونصبنا الخيام بالقرب من نهر صغير وبدأنا بالتفتيش عن الأحافير.

ومما أبهجنا ظهور كُسارات عظمية رائعة وأسنان، وكان ذلك بعد دقائق من بداية تمشيط منحدر التل. فقد برزت، عند طرفي عقيدة من الصخر بحجم حبة البطاطا، جمجمة أكيدة لحيوان ثديي، بدليل وجود عظمتي فكها السفلي المفردتين، من بين صفات أخرى. (تتألّف الفكوك السفلى في الزواحف من عظام منفصلة كثيرة). وفيما بعد، سنصف ذلك الكائن رسميّا بأنّه نوع جديد من **الحافريات القديمة** notoungulate، وهي مجموعة غير متجانسة من الحافريات العاشبة يتراوح حجمها بين الأرنب وفرس النهر، وقد انقرضت قبل أقل من مليون سنة. ويحتمل أنّ هذا النوع الجديد يشبه قليلا **الظبي** antelope. فقد كشفت الأسنان التي وجدناها في السنة السابقة أنّها تعود إلى أحد الحافريات القديمة الشبيهة بوحيد القرن. ومجمل القول، إنه في أثناء الفصول الثلاثة الأولى من العمل الحقلي في تنكويريريكا، أحضرنا أكثر من 300 عينة تتضمّن **جرابيات (كيسيات)** marsupials و**أوائل كسلانيات** early sloth

---

(*) Finding Fossils

(**) Island Menagerie

(1) تنتمي إلى حقب الحياة المتوسطة.

(2) حقب الحياة الحديثة. (التحرير)

ومدرّعا armadillos وأحد القوارض الشبيه بالشينشيلا chinchillalike.

قد تحتاج معرفة الأهمية الكاملة لكشفاتنا إلى سنوات، ولكنّنا عرفنا مباشرة أنّنا أمام شيء عظيم. احتوت هذه الأحافير الجديدة بكل وضوح على الكثير من المعلومات حول تاريخ ثدييات أمريكا الجنوبية الحالية المتميّزة - من بينها الكسلانيات والنسانيس وآكلات النمل والشينشيلانيات. وقد تطورت أسلاف هذه الحيوانات الحالية التي تشمل الكثير من المخلوقات التي وجدناها في وادي تنكويريريكا، عندما كانت قارة أمريكا الجنوبية جزيرة. وبسبب حركة الصفائح الأرضية، بقيت أمريكا الجنوبية منفصلة عن الكتل القارية الأخرى معظم 80 مليون السنة التي أعقبت تقطّع قارة بنجيا Pangaea العملاقة وقسمها الجنوبي، قارة كوندوانا Gondwana. وقد شجعت فترة الانعزال الجغرافي هذه على تطور ثدييات أصلية تكيّفت مثاليا مع ظروف هذه الجزيرة وكل شيء غريب مثل الحيوانات الفطرية (الأصلية) indigenous في الجزر الحديثة كأستراليا (مثال البلاتيبوس ذي منقار البط ودب الكُوال) ومدغشقر (المشهورة بليموريّاتها). وتتضمن أسلاف مجموعات أمريكا الجنوبية الحديثة الاستثنائية الجُرابيات القافزة؛ والجرابي السيفي الأسنان «القطط الزائفة» pseudocats، وأقرباء المدرّع المجهّز بذيل ضخم على شكل هراوة مرصّع بأشواك؛ وقوارض بحجم الدببة؛ وكسلانيات كبيرة بحجم الفيلة؛ وكسلانيات تسبح في البحر (الكسلانيات السابحة).

جُمعت المعلومات عن أسلاف الثدييات الحالية التي تعيش في أمريكا الجنوبية، من الاكتشفات الأحفورية السابقة في پتاكونيا Patagonia ومناطق أخرى، غير أنّ المعلومات الحاسمة عن الكثير من هذه الأسلاف بقيت محيّرة. فقد عرف علماء الأحافير مثلا أن الكسلانيات وآكلات النمل قد بدأت قبل 40 مليون سنة كما فعلت عدة سلالات شاذّة هي الآن منقرضة (تتضمّن بعض الجرابيات والحافريات القديمة). ولكن لم تُكتشف على الإطلاق أحافير تُمثّل الانتقال إلى المرحلة الثانية من تاريخ الثدييات في أمريكا الجنوبية - منذ قرابة 40 وحتى 30 مليون سنة. والشيء الأكثر إثارة لنا في السنين

جماعة ممثلين(*)

في أثناء خمسة فصول من استكشاف وادي «تنكويريريكا» بأواسط تشيلي، اكتشف فريقنا أحافير 25 نوعا تقريبا من الثدييات. عاشت هذه الحيوانات القديمة قبل نحو 32 مليون سنة، ومعظمها جديد على العلم. وتعرف كمجموعة باسم حيوانات التنكويريريكا، وتضم أكثر من 300 عينة فردية تمثّل قوارض أمريكا الجنوبية الأقدم بما في ذلك شكل شبيه بحيوان الشينشيلا لم يُسم بعد *(1)*. وتعد أحافير نوع جديد من حيوان شبيه بالحصان إيومورفيبوس *(2)* Eomorphippus وسانتياكوروثيا تشيليانسيس *(3)* Santiagorothia chiliensis الممثل الأقدم لمجموعتين صغيرتين من الحافريات القديمة، أكلات عشب حافرية أصبحت منقرضة في العشرين ألف سنة الماضية. ويتضمّن المجموع الحيواني أيضا أكبر تنوّع في أمريكا الجنوبية من الحافريات القديمة المعروفة باسم أركيوهيراكوئيدس archaeohyracoids، من بينها أركيوتيبوتيريوم تينكويريريكاينس *(4)* Archaeotypotherium tinguiriricaense. تنفرد منطقة تنكوريريكا بوجود بسيدوكليپتودون تشيلنسيس *(5)* Pseudoglyptodon chilensis النسيب الأقرب المعروف للكسلانيات والحيوان الشبيه بالزبابة: كلوهنيا شاريري *(6)* Klohnia charrieri الجرابي الوحيد من نوعه.



القليلة الأولى من عملنا، كان في تنامي تحققنا من أن الحيوانات التي وجدناها في وادي تنكويريريكا عاشت في أثناء هذه الفترة من تاريخ مجهول سابقا.

لقد ساور علماء الأحافير الشك في أنه في أثناء هذه الثغرة الغامضة في السجل الأحفوري، فإن الكثير من السلالات الفريدة بأمريكا الجنوبية دخلت في عملية تنوّع سريع جدا. وبالفعل، تحوي عيناتنا أقدم تسجيل لعدة مجموعات من الحافريات القديمة وتمثّل على الأقل 25 نوعا من الثدييات وجميعها تقريبا أنواع جديدة لم يكتشفها العلم من قبل [*انظر المؤطّر في هذه الصفحة*]. وقد شهدت هذه الفترة أيضا وصول القوارض و**الرئيسات**(1)، وكلاهما لم يكن من الثدييات الأصلية التي كانت تقطن أمريكا الجنوبية.

القوارض التي ركبت البحار(**)

ومن بين اكتشافاتنا الأكثر أهمية في وادي تنكويريريكا، أحفورة أقدم قارض عُرف في أمريكا الجنوبية، هذه اللقية تعطي دليلا قويا للجدل الدائر حول منشأ خنازير الماء، والشينشيليات الحالية. وهذه المخلوقات، المعروفة برتيبة قوارض **كافيومورفا**(2) Caviomorpha، وأقرباؤها المباشرون، تؤلّف سلالة قوارض أمريكا الجنوبية الأكثر قدما (وهي متميّزة من سلالة القوارض الأحدث المكونة من الجرذان والفئران والمخلوقات ذات

(*) Cast of Characters

(**) Seafaring Rodents

(١) رتبة في الثدييات تتضمّن بواكر النسانيس والنسانيس والقردة والإنسان.

(٢) رتيبة من القوارض عاشت في أمريكا الجنوبية من عصر الأوليكوسين حتى العصر الحالي. (التحرير)

مهاجرون أفارقة(*)

لم تكن نسانيس العالم الجديد ومجموعة قوارض «الكافيومورفا» (تشمل في الوقت الحاضر خنازير الماء والشينشيليات وأقرباءها) من سكان أمريكا الجنوبية الأصليين. ولكنها وصلت قبل 25 مليون سنة عندما كانت أمريكا الجنوبية جزيرة. وقد جادل بعض الباحثين في أن أسلاف الحيوانات عبرت الممر المائي الأقصر نسبيا، أي من أمريكا الشمالية؛ غير أن الأحافير الجديدة المكتشفة في أواسط تشيلي دلّت بوضوح على أنّ حيوانات المجموعتين أكثر انتماء إلى أسلاف في إفريقيا. ومن المحتمل أنّ الحيوانات الأصلية التي استعمرت أمريكا الجنوبية قد هاجرت من إفريقيا إلى أمريكا الجنوبية على جزر عائمة من النباتات، أو بآلية انتشار أخرى نادرة لا نعتقد أنه يمكن تعرفها.



نسناس:
شلسيبوس كاراسكوانسيس(1)

جمجمة صغيرة (طولها 5 سم وعمرها 20 مليون سنة) لنسناس صغير يزن كيلوغراما واحدا أو أقل، ويمكن أن يشابه القرد الأمريكي الصغير (*في اليسار*).

قارض:
نوع جديد *لم يصنَّف بعد*

جزء من فك (طوله 2 سم) لقارض عمره 32 مليون سنة، وهو أحد أقدم اثنين من أحافير القوارض التي وجدت في أمريكا الجنوبية، وهو قد يشابه الأكوتي agouti الحالي (حيوان بحجم الأرنب قصير الشعر والأذنين) (*في اليسار*).

القرابة التي وصلت من الشمال (أمريكا الشمالية) قبل نحو 3.5 مليون سنة عندما اتصلت الأمريكتان لأول مرة ببرزخ پنما). ويتفق علماء الأحافير على أنّ قوارض «الكافيومورفا» الأولى قد وصلت في وقت ما في أثناء الفترة الزمنية الطويلة (من 55 مليون إلى 25 مليون سنة)، بينما كانت أمريكا الجنوبية جزيرة. ولقد ألمحت أحافير «الكافيومورفا» الأحدث إلى أنّ الأسلاف أتت من إفريقيا، غير أنّ الكثير من الباحثين وجدوا أنّه من الأسهل أن نتصوّر أنّ القوارض المهاجرة قامت برحلة أقصر، أي من أمريكا الشمالية، وربّما عن طريق سلسلة من الجزر الكاريبية.

وللمساعدة على حل هذا النقاش، قارنا التفاصيل التشريحية لحيوان التنگويريريكا ببقايا القوارض التي وجدت في أمكنة أخرى من العالم. وقد جاءت المعلومات الأكثر دلالة من شكل الأسنان الصغيرة التي لاتزال في أمكنتها على الفك السفلي (الفك العلوي والأضراس «الطواحن» لم يعثر عليها حتى الآن). ويدل ذلك الشكل على أنّ أضراس الفك العلوي لحيوان التنگويريريكا تحوي خمس حدبات متميّزة على سطحها - كما هي الحال في أضراس الفك العلوي في القوارض الإفريقية التي عثر عليها في الفترة الزمنية نفسها. وبالمقابل فإنّ الأضراس العليا لأنواع القوارض القديمة في أمريكا الشمالية بها أربع حدبات فقط. وتوحي هذه المقارنات بوجود علاقة وثيقة وقوية بين قارض التنگويريريكا وحيوانات إفريقيا. ويعد عدم وجود أسلاف حيوانات «الكافيومورفا» في طبقات الأحافير الأقدم في أمريكا الشمالية، الذي يبدو مقبولا، دليلا داعما أيضا لنظرية المنشأ الإفريقي لهذه الحيوانات.

يبدو أن مستعمرة «الكافيومورفا» الأصلية قد ارتحلت من إفريقيا إلى أمريكا الجنوبية على أجزاء من جذوع الأشجار أو أطواف من كتل الأخشاب - للاطلاع على أفضل تخمينات العلماء عن كيفية ارتحال حيوانات ونباتات استثنائية متنوعة إلى الكثير من المناطق المنعزلة جغرافيا [انظر: «*أسرار حقب الحياة الوسطى* في مدغشقر»، **العلوم**، العددان 5/4 (2003)، ص 56]. قد تكون فكرة الرحلة عبر المحيط، التي يصعب تصديقها، غير محتملة الحدوث، ولكنّها أكثر احتمالا في إطار البيئة العالمية قبل نحو 32 مليون سنة. وفي ذلك الزمن، كان عرض المحيط الأطسي الجنوبي في أضيق نقاطه نحو 1400 كم - أي نصف عرضه الحالي - وكانت التيارات البحرية من الشرق نحو الغرب في المناطق المدارية قوية بصورة عرضية.

ربّما تكون هذه الظروف قد سمحت برحلة مدتها قرابة أسبوعين ويمكن أن تكون الحيوانات قد دخلت خلالها في سبات (سكون وأيض منخفض إلى أبعد الحدود خلال أوقات الإجهاد). إضافة إلى ذلك كان مستوى سطح البحر في ذلك الزمن ينخفض (بسبب تشكّل مسطحات جليدية على القطب الجنوبي وما جاوره)، ومن ثم، يمكن أن تكون جزيرة بركانية أو أكثر قد شكّلت نقاط ارتكاز، وهي الآن مغمورة، ممّا جعل عملية العبور أكثر سهولة.

أنظمة بيئية واعدة(**)

باستخدام طريقة تحديد أعمار جديدة ودقيقة جدا تعتمد على تحليل كميات ضئيلة من غاز الأرگون المحتبسة داخل بلورات الصخور المحتوية على الأحافير، حدّدنا أنّ قوارض وثدييات «تنگويريريكا» الأخرى تعود إلى ما قبل 33 مليون إلى 31.5 مليون سنة.

(*) African Immigrants
(**) Emerging Ecosystems
(1) Chilecebus carrascoensis

ويشير نمو مسطحات جليد القارة الجنوبية وظواهر أخرى إلى أنّ المناخ العالمي قد صار أكثر برودة وجفافا. فإذا عرفنا أن تغيّرا مناخيا رئيسيا قد حدث تماما عندما كانت ثدييات تنكويريريكا تزدهر، فقد دفعنا ذلك إلى تحرّي ما إذا كانت الحيوانات وبيئاتها قد تجاوبت مع تلك التغيّرات.

لقد سمحت لنا قرائن متعدّدة من الأدلة غير المباشرة بإعادة بناء موطن ثدييات التنكويريريكا، مع أنّنا لم نجد قط أحافير نباتية من الصخور نفسها. وكشف التحليل المبكر لأسنانها عن أنّ حيوانات «التنكويريريكا» لا بدّ وأنّها عاشت في نظام بيئي مختلف تماما عن النظام الذي عاشت فيه أسلافها المباشرة. ومعظم ثدييات أمريكا الجنوبية الأقدم والمعروفة في الفترة الواقعة بين 65 و 34 مليون سنة حيوانات من آكلات العشب كانت ترعى النباتات الغابية الخضراء النموذجية، مثل أوراق الأشجار والأعشاب. (في الواقع، تُؤكّد الأحافير النباتية أنّ الغابات المورقة كانت تُغطي على ما يبدو مساحات واسعة من أمريكا الجنوبية في أثناء تلك الفترة). فالثدييات التي تأكل هذه الأغذية الطرية، بما فيها البشر، تتمتّع **بأسنان قصيرة التاج**[1] مع غطاء رقيق من المينا الواقي يغطي السن إلى الخط الفاصل مع اللثة.

وعلى النقيض من ذلك، تمتلك معظم حيوانات «التنكويريريكا» العاشبة أسنانا ذات تاج طويل جدا مع ميناء يمتد ما بعد الخط الفاصل مع اللثة إلى نهاية الجذر تقريبا، وهذه حالة معروفة باسم **الأسنان الطويلة التاج** hypsodonty. ويجعل مينا السن الإضافي (مينا السن أقسى من عاج السن في باطنه) الأسنان طويلة التاج أكثر مقاومة للاهتراء من **الأسنان القصيرة التاج** brachyodonty. وبكل تأكيد تقريبا طوّرت حيوانات «التنكويريريكا» العاشبة مثل هذه الأسنان استجابة للجسيمات الساحجة الموجودة ضمن الأغذية التي كانت تأكلها، كما فعلت الماشية والظباء والخيول والحيوانات الأخرى التي تأكل العشب الرملي في المروج المفتوحة والسافانا في أمكنة أخرى من العالم. ومن الجدير بالملاحظة أيضا أنّ أسنان ثلثي جميع أنواع حيوانات «التنكويريريكا» كانت ذات تاج طويل. وتزداد نسبة الكائنات التي تيجان أسنانها طويلة مقارنة بالأنماط السنية الأخرى، بازدياد نسبة الموطن المفتوح، ثم إن نسبة أسنان حيوانات «التنكويريريكا» ذات التيجان الطويلة قد تجاوزت حتى المستوى الملاحظ لدى الثدييات الحالية في المواطن المفتوحة مثل «**السهول العظمى**» Great Plains في أواسط أمريكا الشمالية.

تقضي هذه النتائج أنّ العواشب في «تنكويريريكا» كانت ترعى في مروج العشب المفتوحة وليس في الغابات، ولكن الأسنان ليست هي الدليل الوحيد في هذا الاستنتاج. فقد زودنا خرّيجنا السابق في الدراسات العليا <D. كروفت> [وهو حاليا أستاذ في جامعة كيس وسترن ريزرف] باستنتاجين مستقلين آخرين حول كمية الأمطار السنوية والغطاء النباتي اللذين كانا سائدين في النظام البيئي القديم في وادي «تنكويريريكا». فقد كشفت التحاليل الإحصائية (تحاليل سينوكرام والموطن الكبير) لعدد من الأنواع مصنفة حسب أحجامها في مجموعات، أنّ حيوانات «التنكويريريكا» تتشابه، إلى حد بعيد، مع المجموع الحيواني الحالي الذي يعيش في سهول العشب الجاف مع رقع من الغابات مثل أجزاء السافانا في إفريقيا أو مواطن «كاتينكاز» Caatingas (منطقة شمال شرق البرازيل) و«شاكو» Chaco (منطقة شمال شرق الأرجنتين) في أمريكا الجنوبية.

وبشيء من الاستغراب، قوبل استنتاجنا بأنّ موطن «تنكويريريكا» القديم كان مفتوحا

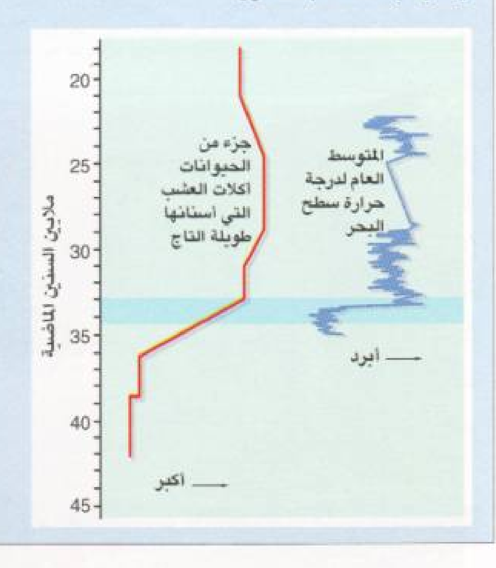
أسنان «تخبر» بكل شيء(*)

تمتلك معظم أحافير الحيوانات العاشبة المكتشفة في وادي تنكويريريكا بتشيلي، التي عمرها 32 مليون سنة، أضراسا طويلة التاج Hypsodont تشابه أضراس المواشي (الأبقار والأغنام...) الحالية التي تستخدمها في طحن النباتات الليفية الرملية. وتشير هذه الأضراس المتخصصة إلى أنّ منطقة تنكويريريكا كانت أرضا عشبية جافة عندما كانت تلك الحيوانات تعيش فيها. وفي زمن أبكر، كانت معظم أمريكا الجنوبية مغطاة بغابات كثيفة وكانت نسبة الأنواع العاشبة فيها ذات الأضراس الطويلة التاج أقل (*الخط الأحمر في الرسم البياني*). إنّ تغيّر المناخ (*الخط الأزرق القاتم*) إلى مناخ أبرد، ومن ثم أكثر جفافا، قبل نحو 34 مليون سنة (*الخط الأفقي العريض الأزرق الفاتح*) يمكن أن يفسّر تجفاف الغابات المورقة.



أسنان طويلة التاج

يوضح الفك الأيمن المكسور لعاشب تنكويريريكي بحجم الخروف، الأسنان المقاومة للاهتراء النموذجية للحيوانات التي ترعى في مروج العشب. تمتد التيجان المغطاة بطبقة واقية من المينا بعيدا تحت اللثة نحو نهايات جذور الأسنان - مما يؤمّن مواد إضافية لتعويض الاهتراء في أثناء نمو السن.





أسنان قصيرة التاج

يوضح الفك الأيمن السفلي لعاشب تشيلي قديم لم يسمّ بعد، أنّ طبقة المينا الواقية تغطّي فقط أجزاء التيجان التي تعلو خط اللثة. ومثل هذه الأسنان لا تلائم النظام الغذائي المحتوي على الرمل؛ فهي عادة لحيوانات ترعى الأوراق أو الأعشاب الطرية.

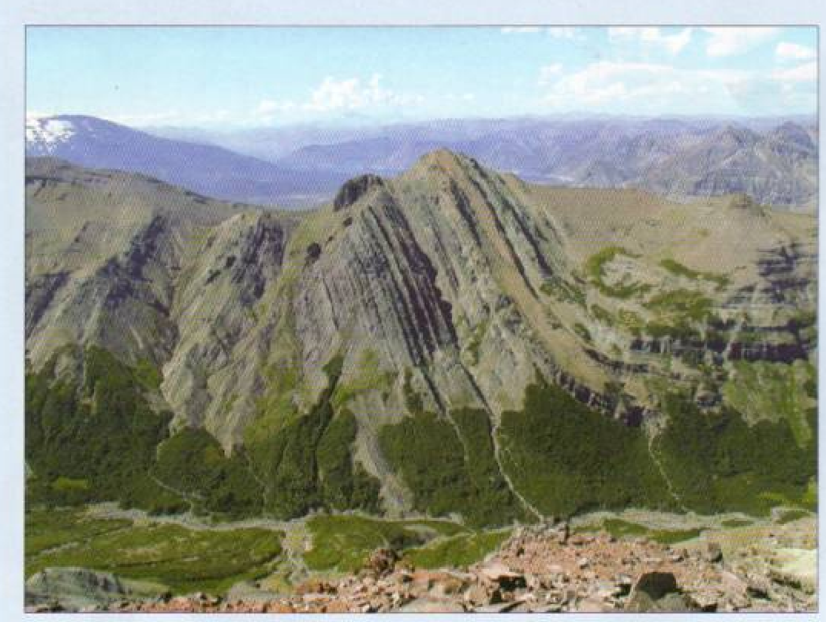
(*) The fossil mammals of the Chilean Andes

(1) ذات تاج سني قصير.

(التحرير)

أحافير الثدييات في الآنديز التشيلية(*)

إن ما أعطى هذه الأحافير كل هذه الأهمية هو ما قدمته من وسائل متقدمة لفهم التاريخ الجيولوجي في هذا القطاع من جبال الآنديز. فالعمر الأحدث غير المتوقّع للثدييات القديمة أبطل الافتراضات السائدة حول عمر صخورها المضيفة، مشيرا إلى أنّ ذلك الجزء من الآنديز قد تشكّل على الأقل بعد 70 مليون سنة ممّا كان يُظنّ سابقا. وكان يعتقد لمدة طويلة أنّ عمر معظم الصخور التي تشكل العمود الفقري للسلسلة الرئيسية لأواسط جبال الآنديز التشيلية، التي سماها ووصفها للمرة الأولى «تشارلز داروين»، يعود على الأقل إلى 100 مليون سنة؛ كما أنّ المراحل الأولى لرفعها كانت قديمة بصورة مماثلة. وقد مكّن تحديد عمر الرواسب المحتوية على الأحافير فريقنا من أن يحسب، لأول مرة وبدقة، الزمن الذي بدأ فيه هذا الجزء من جبال الآنديز بالارتفاع والتشكل: بين ما قبل 15 مليون و 18 مليون سنة. استمر الرفع على فترات، وما زال يحدث حتى الآن. ومن الواضح حاليا أنّ الأحواض الواسعة المملوءة بالرواسب قد تشكّلت في أثناء المراحل البركانية من التاريخ الجيولوجي للسلسلة الجبلية، وذلك بتشكيل الأنظمة البيئية القديمة في المنطقة، الفريدة من نوعها، وتوفير الوسيلة الكفيلة لحفظ سجل الثدييات القديمة المثير.



تعد الطبقات الحاملة للأحافير التي دُفعت نحو الأعلى وأصبحت شبه شاقولية تقريبا، دليلا مثيرا على القوى التكتونية التي ضغطت أواسط تشيلي عبر ملايين السنين. وتقع هذه المنحدرات الشديدة بالقرب من بحيرة لاجا Lake Laja الواقعة على بعد 300 كم إلى الجنوب من وادي تنكويريريكا.

وجافا نسبيا ويحتوي على أعشاب وفيرة، ذلك لأنّ جميع الأدلة السابقة تشير إلى أنّ السهول العشبية المفتوحة الأولى (الأقدم) على القارات الأخرى لم تظهر إلاّ قبل نحو 18 مليون سنة. وظهور سهول تنكويريريكا العشبية قبل ذلك بنحو 15 مليون سنة قد يكون نجم عن اتجاه المناخ العالمي ليصبح جافا وباردا في ذلك الزمن ـ وربّما ازداد الوضع حدة بسبب ظاهرة ظل المطر الناتجة من ارتفاع جبال الآنديز. ويبدو أن السهول العشبية كانت أفضل تلاؤما مع المناخ الأكثر برودة وجفافا من الغابات المورقة التي عاشت في أثناء آلاف السنين السابقة.

وحتى الآن، ومع ذلك، فإنّ الاشتباه في أنّ السهول العشبية نتجت من التبريد العالمي يحتاج إلى إنعام أكثر للنظر. ويشكّل اختبار إضافي للعلاقة السببية المباشرة وسيلة للبحث في المستقبل.

لا توجد نسانيس هنا وهناك(**)

بعد أن تم اكتشاف مثل هذا الكنز الدفين والغني بالمعلومات الأحفورية والبيئية في مواقع متعدّدة من وادي «تنكويريريكا»، بدأنا نفكر فيما إذا كان هذا الجزء من جبال الآنديز «ضربة حظ» أحفورية. وبعد ذلك وبسرعة قادنا عائق غير متوقّع إلى الجواب. كانت إعادة بناء الطريق المؤدية إلى وادي «تنكويريريكا» في ربيع عام 1994 بطيئة على نحو استثنائي، ولكنّنا لم نعلم شيئا عن هذا العائق حتى وصولنا إلى مسرح الحدث. لقد تحولنا من الإحباط إلى اغتنام الفرصة، وبدأنا بالاستكشاف خارج الوادي.

فقد استكشفنا أودية رئيسية أخرى تُبدي التكشّفات نفسها من الصخور الرسوبية البركانية المنشأ التي تغطي آلاف الكيلومترات المربّعة من المناطق الجبلية. لقد حدّدنا خلال السنوات المتتالية من العمل الحقلي أنّ أحافير الثدييات لم تكن في الحقيقة مقتصرة على وادي «تنكويريريكا» وأنّ سيل الحمم البركانية الذي أغرق المروج القديمة لم يكن كارثة منعزلة ولمرة واحدة. وفي الواقع، إنّ أحداثا مدمّرة كهذه حصلت بصورة متكرّرة إذا نظر إليها عبر ملايين السنين. وفي كل حادثة، تُدفن الرواسب الأقدم تحت طبقات كثيرة من المواد البركانية الاندفاعية الإضافية (وما تحويه من عظام) بصورة دائمة إلى أعماق أكبر. وفي النهاية فإن ثخانة هذا التراكم المتطبّق من الرواسب (وتحولت إلى صخور) مع الحمم البركانية (اللابات) تربو على 3 كم. وفيما بعد ضَغَط تقارب صفائح القشرة الأرضية (التكتونية) هذا الركام الصلب بشدة نحو الأعلى.

وإن تحاليلنا المستمرّة للمجموعات الحيوانية المتعدّدة التي يراوح عمرها بين 10 ملايين و 40 مليون سنة، تكشف عن أفكار جديدة حول تاريخ المنطقة. وأحد مكتشفاتنا الحديثة والأكثر أهمية، من موقع يبعد 100كم شمال منطقة «تنكويريريكا» في حوض تصريف نهر كاشاپوال Cachapoal River، كان الجمجمة الأكثر كمالا حتى الآن لنسناس مبكر من العالم الجديد. وهذه الجمجمة التي يبلغ طولها 5سم، مع ما تحمله من أوْقاب(1) وأسنان كاملة محفوظة حفظا جيدا في الفك العلوي، تنتمي إلى نسناس صغير يزن على الأكثر نحو 1 كغ. وهذا المخلوق، الذي دعي شيليسيباس كارّاسكوانسيس Chilecebus carrascoensis، كان يشابه نسانيس العالم الجديد الحالية، مثل نسناس المارموسيت marmoset

(*) The fossil mammals of the Chilean Andes

(**) No Monkeying Around

(1) ج: وَقْب eye socket وهو نُقْرَة العين. (التحرير)



جماجم العواشب، كما شوهدت أول مرة في الحقل، حُفظت في أرضية خشنة متحجرة مكونة من رماد وطين من اندفاعات بركانية قديمة. وحتى قبل إخراج العظام من الصخر، حدد الباحثون العينتين كنوعين من الحيوانات الحافرية العاشبة المعروفة بالحافريات القديمة notoungulates.



وتُلاحظ بصورة خاصة على العينة (اليمنى) الأسنان الطويلة التاج المميزة للحيوانات العاشبة. أمّا الجمجمة الأخرى التي تعود لحيوان حافري آخر آكل للأوراق الطرية، يدعى نوتوبيتسين notopithecine، فقد اكتشفت حديثا بالقرب من نهر تينو Teno.

والتامارين tamarin. وكما حدث مع قوارض «الكافيمورفا»، فالخبراء يناقشون منذ مدة طويلة فيما إذا كانت نسانيس العالم الجديد قد نشأت في أمريكا الشمالية أو في إفريقيا. ولكن التفصيلات التشريحية لجمجمة النسناس «شيليسيباس» وأسنانه تنم عن إرثه المشترك مع مجموعة الرئيسات التي نشأت في إفريقيا. ومثل ما حصل مع قوارض «الكافيمورفا» يبدو أنّ أسلاف النسناس «شيليسيباس» قامت بطريقة ما بعبور المحيط الأطلسي قادمة من إفريقيا.

بدءا من المجموع الحيواني في منطقة «تنگويريريكا» وانتهاء بالنسناس «شيليسيباس» والمكتشفات المستمرة الأخرى عبر أواسط تشيلي، تُبرهن الرواسب البركانية، التي أُهملت في السابق عند التفتيش عن الأحافير، أنّها تحوي عظاما محفوظة حفظا جيدا، وأنّها تتضمّن الآن السجل الرئيسي لتطوّر ثدييات أمريكا الجنوبية. ومع مر السنين، توصلنا إلى إدراك واضح لمظهر الصخور الواعدة، حتى إنّنا كنا قادرين أحيانا على تعرفها من عدة كيلومترات. لقد حصلنا على هذه الأحافير بجهود كبيرة، ومع ذلك فقد بُذلت هذه الجهود لتخطّي صعاب التضاريس الشديدة الانحدار والمسافات البعيدة للكثير من المواقع. وتقع بعض المواقع ضمن بضعة كيلومترات من الطرقات الحصوية والمرّات الرملية، ولا يمكن الوصول إلى المعظم الآخر إلاّ بعد سير طويل على الأقدام أو ركوبا على الخيول أو حتى باستخدام الطوافة (الهليكوبتر). ونشير هنا، مازحين، إلى «مقولة <أندي>» (سمّيت كذلك تكريما لـ<أندره وايس>) التي تذكر أنّ الصعوبة في الوصول إلى موقع تكون متناسبة مع كمية ونوعية الأحافير التي سوف نجدها.

إن الأحافير التي اكتشفت في جبال الأنديز التشيلية في طبقات يعود عمرها إلى حقب السينوزوي، تساعد على توضيح تطوّر الثدييات، إضافة إلى توضيح التحوّلات البيئية في أمريكا الجنوبية، وهي القارة التي يمثّل انعزالها المديد على شكل جزيرة اختبارا طبيعيا رائعا لدراسة الظواهر التطورية الكبيرة. ■

المؤلفون

John J. Flynn - André R. Wyss - Rwynaldo Charrier

في العشرين سنة الماضية، تحرّى المؤلفون معا التاريخ الأحفوري المدفون في جبال الأنديز التشيلية. <فلاين> هو رئيس وأمين متحف فريك Frick التابع لقسم علم الأحافير في متحف التاريخ الطبيعي الأمريكي بمدينة نيويورك وعميد مدرسة الدراسات العليا الجديدة التابعة لهذا المتحف. <وايس> أستاذ علوم الأرض في جامعة كاليفورنيا. أمّا <تشاريير> فهو أستاذ الجيولوجيا في جامعة تشيلي بسانتياكو.

ويشكر المؤلفون معدّي الأحافير المتخصّصين لدعمهم الاستثنائي لهذا البحث، كما يشكرون المتحف الوطني للتاريخ الطبيعي في سانتياكو والمجلس الوطني للنصب التذكارية في تشيلي ومؤسسة العلوم الوطنية في الولايات المتحدة وإدارة الطيران والفضاء الأمريكية (ناسا) واللجنة الوطنية للأبحاث التقانية والعلمية في تشيلي.

مراجع للاستزادة

Splendid Isolation: The Curious History of South American Mammals. George Gaylord Simpson. Yale University Press, 1980.

Cenozoic Environmental Change in South America as Indicated by Mammalian Body Size Distributions (Cenograms). Darin A. Croft in *Diversity and Distributions*, Vol. 7, No. 6, pages 271–287; November 2001.

The Tinguiririca Fauna, Chile: Biochronology, Paleoecology, Biogeography, and a New Earliest Oligocene South American Land Mammal "Age." J. J. Flynn, A. R. Wyss, D. A. Croft and R. Charrier in *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 195, No. 3/4, pages 229–259; June 15, 2003.

For more details about the mammal lineages that inhabited South America when it became geographically isolated, visit www.dcpaleo.org/Research/SAMammals/SAMammals.html

Scientific American, May 2007



الحدود المنطقية والرياضياتية(*)

كانت التحديات التي واجهت علماء الرياضيات عبر التاريخ عديدة، بل إن بعضها تطلب قرونا من الجهد للتغلب عليها. ويرى <J. P. دولاهاي>(**) أن اكتشاف استحالات أساسية وإثباتها يعدّان جزءا من أبرز عناصر التقدم.

متى تم اكتشاف وجود حدود رياضياتية؟

منذ القِدَم. فمن أبرز النتائج التي توصل إليها قدماء الرياضياتيين الإغريق، نحو القرن الخامس قبل الميلاد، اكتشاف أن $\sqrt{2}$ **أصم**(1): وهذا يعني أنه لا يمكن كتابة $\sqrt{2}$ على شكل نسبة عددين صحيحين. إنها نتيجة بسيطة البرهان (*انظر المؤطر في الصفحة المقابلة*)، وهي تكافئ القول: إن قطر المربع لا يمكن قياسه بضلع المربع كوحدة طول ـ أي إن وحدة الطول المحددة بضلع المربع لا تسمح بالتعبير عن طول القطر كنسبة عددين صحيحين. في حين كان الاعتقاد السائد يعتبر أن جميع المقادير الهندسية أو الفيزيائية تقبل القياس، ولذا كان اكتشاف أن $\sqrt{2}$ عدد أصم (غير نسبي) بمثابة صدمة.

هل لمحدودية سلطة الأعداد الصحيحة صلة بمسألة تربيع الدائرة التي وضعها أيضا قدماء الإغريق؟

هناك صلة، لكنها صلة ذات طابع رجعي لا أكثر، وذلك عندما ننظر للمسألة بمنظار اليوم. لنتذكّر أن مسألة تربيع الدائرة التي طرحها <أناكساگور> على نفسه، في القرن الخامس قبل الميلاد، كانت تتمثّل في إنشاء مربع، باستعمال المسطرة والفرجار، مساحته تساوي مساحة قرص تحيط به دائرة معلومة. وبعبارة أخرى، يتعلق الأمر بإنشاء مربع مكتفين باستخدام فرجار ومسطرة غير مُدرَّجة، أي برسم مستقيمات بالمسطرة وبنقل الأطوال بواسطة فتحة رأسي الفرجار. وهكذا تُرَدُّ مسألة تربيع الدائرة إلى الانطلاق من طول معلوم بوصفه وحدة (وهو نصف قطر الدائرة) وإنشاء طول يساوي $\sqrt{\pi}$ وحدة (وهو طول ضلع المربع الذي تساوي مساحته مساحة الدائرة). لقد ظل الجواب النهائي عن هذا السؤال عالقا أكثر من 20 قرنا! ذلك أن الرياضياتي الألماني <F. ڤون ليندمان> قدّم الإجابة عام 1882، وكانت الإجابة بالنفي: تربيع الدائرة بالمسطرة والفرجار مستحيل. وقد جاء الجواب عن هذه المسألة الهندسية عام 1837، بعد أن تمّ إدراك أن الإنشاءات بالمسطرة والفرجار متصلة بسلسلة من العمليات الجبرية الأولية: الجمع والطرح والضرب والقسمة واستخراج الجذر التربيعي. ومن ثم اتضح أنه إذا كان الطول $\sqrt{\pi}$ قابلا للإنشاء بالمسطرة والفرجار فإن π حل لمعادلة جبرية معاملاتها أعداد صحيحة (مثل المعادلة: $11x^7 - 2x^2 - 3 = 0$). غير أن ليندمان تمكّن من إثبات أن π ليس حلا لأية معادلة جبرية معاملاتها أعداد صحيحة (نقول عن π إنه **متسام** transcendant وليس **جبريا** algeb)، وهذا يؤدي إلى استحالة تربيع الدائرة. ونلاحظ هنا أن لدينا نتيجة طبيعتها مماثلة لتلك المتعلقة بصمم $\sqrt{2}$: فكما تبيّن لنا أنه من الخطأ القول إن جميع الأعداد **مُنْطَقة**(2) (أي تكتب على شكل نسبة عددين صحيحين)، فإنه من الخطأ القول أيضا إن كل عدد يمكن كتابته بصيغة حلّ لمعادلة جبرية معاملاتها صحيحة.

إن الموضوعة الخامسة لإقليدس، وهي مسلّمة المتوازيات، حيّرت الرياضياتيين خلال زمن طويل. فهل ظهرت هنا أيضا حدودٌ لا يمكن تجاوزها؟

لنتذكّر بما جرى. كان إقليدس قد نصّ في كتابه **«الأصول»**(3) *The Elements* على مسلّمات الهندسة الأساسية؛ وكانت إحدى هذه المسلّمات تكافئ القول إنه «من نقطة مفروضة خارج مستقيم مفروض يمر مستقيم واحد ـ وواحد فقط ـ يمر من مواز للمستقيم المفروض. والغريب، بالنسبة إليّ على الأقل، أن الرياضياتيين كانوا يعتقدون بأن هذه المسلّمة ليست مستقلة، وأنه ينبغي استنتاجها من باقي المسلّمات. وهكذا قضى الرياضياتيون نحو عشرين قرنا محاولين البرهان على مسلّمة المتوازيات إلى أن دبّ

(*) Les limites logiques et mathématiques عنوان مقالة ألقاها <J. P. دولاهاي> في قصر الاكتشاف بباريس، وقد طُرحت عليه الأسئلة الواردة في هذه المقالة من قبل مجلة *Pour La Science*، ونشرت في العدد 352 من هذه المجلة وهي الأخت الفرنسية لـ **العلوم**.

(•) انظر أيضا: «*مواجهة الحدود المنطقية للعلم*»، **العلوم**، العدد 2 (1997)، ص 4.

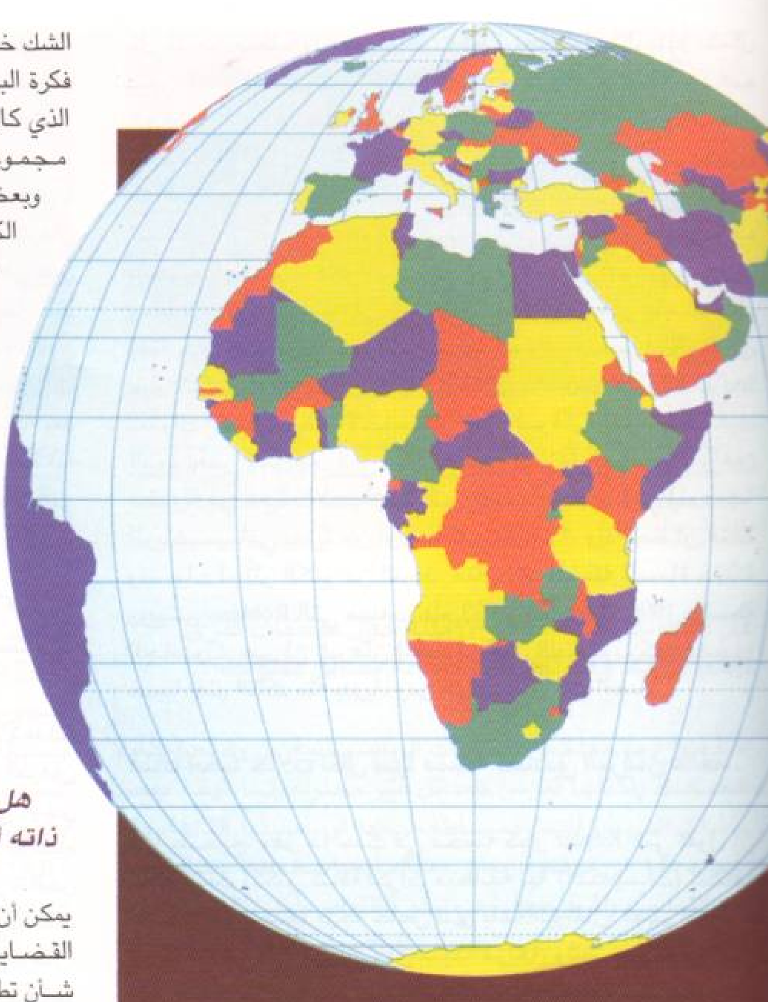
(**) <J. P. دولاهاي> أستاذ المعلوماتية في جامعة ليلْ Lille الفرنسية ويجري أبحاثه في مختبر المعلوماتية الأساسية في مدينة ليل.

(1) irrational أو غير نسبي؛ rational مُنْطَق أو نسبي.

(2) أو نسبية.

(3) هو مؤلّف شهير وضعه إقليدس في الهندسة، أسس من خلاله ما يعرف اليوم بالهندسة الإقليدية. (التحرير)

الشك خلال القرن التاسع عشر في إمكانية تحقيق هذا الهدف. وكانت فكرة البرهان على هذه الاستحالة لافتة لأنها أوحت بمفهوم النموذج الذي كان بالغ الأهمية في المنطق الرياضياتي. ويتعلق الأمر باختيار مجموعة **كينونات** (رياضياتية) entities، بعضها يسمى نقاطا وبعضها الآخر يسمى مستقيمات؛ ثم اختيار علاقات بين تلك الكائنات الموافقة لمسلّمات الهندسة. وإذا أنشأنا مثل هذا «النموذج» الذي تكون فيه جميع مسلّمات الهندسة محققة، باستثناء مسلّمة المتوازيات، وبرهنا على أن هذا النموذج لا يؤدي إلى تناقضات، فإننا نكون بذلك قد أثبتنا بأن مسلّمة المتوازيات مستقلة عن المسلّمات الأخرى. كان <E. بلترامي> عام 1868 أول من قدم مثل هذا الإنشاء : وهو يتمثّل في اعتبار (سطح) كرة وتسمية «نقطة» كل ثنائية من نقطتين متقابلتين قطريا على سطح هذه الكرة، وتسمية «مستقيم» كل دائرة لها قطر أعظمي على هذا السطح. يمكننا عندئذ أن نرى أن جميع مسلّمات إقليدس محققة على هذه الكرة باستثناء مسلّمة المتوازيات : لا يمكن رسم «مستقيم» يمر بـ«نقطة» خارج «مستقيم» D ويوازيه، أي لا يلتقي بـD. لقد كان هذا الاكتشاف، شأنه شأن اكتشاف الاستحالات الأخرى، مثمرا لأنه ولّد هندسات غير إقليدية.



حسب مبرهنة الألوان الأربعة التي تم البرهان عليها عام 1976 فإن أربعة ألوان تكفي لتلوين أية خريطة مستوية بحيث يكون لونا كل بلدين متجاورين (بافتراض أن كلا منهما يشكل منطقة واحدة) مختلفين (هنا المحيط يحدّ الخريطة ولا يمثّل لونا خامسا). كان إثبات هذه المبرهنة أول برهان اعتمد بشكل أساسي على عمل الحاسوب.

هل توجد حدود لا يمكن للاستدلال الرياضياتي ذاته أن يتجاوزها ؟

يمكن أن يمسّ المنطق الرياضياتي النظريات الرياضياتية ذاتها، أي القضايا التي يمكن البرهان عليها انطلاقا من بعض المسلّمات. وهذا شأن تطور المنطق الرياضياتي. وفي هذا السياق هناك نتيجة استحالة شهيرة هي **اللاحسمية** the undecidedness[1]، التي توصل إليها <K. گوديل>[2] ما بين عامي 1930 و 1931. كان عالم المنطق النمساوي <گوديل> قد برهن أنه إذا أخذنا مجموعة من المسلّمات تتيح تطوير حساب الأعداد الصحيحة فإنه توجد خواص صحيحة تتعلق بهذه الأعداد ستكون لاحسمية، أي خواص صحيحة إلا أنه من المستحيل إثباتها اعتمادا على مجموعة المسلّمات التي انطلقنا منها. لقد صادفتنا حالة مماثلة في الهندسة : إن مسلّمة المتوازيات مسلّمة لاحسمية، إذ إننا نستطيع إضافة هذه المسلّمة، أو إضافة نقيضها، إلى مجموعة المسلّمات الهندسية من دون أنْ يترتب على ذلك تناقضات. والواقع أن نظرية <گوديل> أقوى من ذلك: فهي تنصّ على أن كل نظام مُسَلَّمي متين بحيث يمكنه تطوير الحساب الأولي، فإن هذا النظام يحتوي حتما على عبارة صحيحة لكنها لاحسمية؛ وحتى إن رفعت هذه العبارة إلى مرتبة المسلّمة، فإن النظام المُسلَّمي المحصل عليه بهذه الطريقة سيخضع بدوره لحكم نظرية <گوديل>، حيث ستظهر مجددا عبارة أخرى صحيحة، لكنها لاحسمية (يوضّح برهان <گوديل> كيفية إنشاء هذه العبارة الجديدة). وهكذا دواليك، ومن ثمّ يتبيّن أنه لا يوجد نظام مُسلَّمي كامل. إنها نتيجة مُحدِّدة محيِّرة جدا، وقد تمت مناقشتها كثيرا، وهي نتيجة مركزية في كل تفكير حول طبيعة الرياضيات.

البرهان على أن $\sqrt{2}$ عدد أصم (غير نسبي)[*]

لإثبات أن $\sqrt{2}$ لا يكتب على شكل نسبة عددين صحيحين، يمكننا **الاستدلال بالخلف** proof by the absurd : نفترض أن هذا العدد يكتب على الشكل p/q، حيث p و q عددان صحيحان، ثم نبرهن على أن ذلك يؤدي إلى تناقض. نستطيع اختيار p و q بحيث لا يكون الاثنان زوجيَّيْن معا (وإلا اختصرنا 2 في الكسر). نربّع طرفي المساواة المفترضة، وهي $\sqrt{2} = p/q$ ، فنحصل على المساواة $p^2 = 2q^2$ التي نستنتج منها أن p زوجي (لأن مربع عدد فردي يساوي عددا فرديا). يسمح ذلك بكتابة $p = 2p'$، حيث p' عدد صحيح. وهكذا نحصل بعد التعويض على $4p'^2 = 2q^2$ ، أي $q^2 = 2p'^2$. ومن ثمّ نستنتج أن q زوجي أيضا. وهذا تناقض لأننا انطلقنا من كون p و q ليسا زوجيَّيْن في آن واحد. وعليه فالفرضية الأولى القائلة بأن $\sqrt{2}$ يكتب على الشكل p/q، هي فرضية خاطئة.

(*) Prouver l'irrationalite de $\sqrt{2}$

(١) l'indécidabilité أو «عدم قابلية البت»

(٢) انظر: «*كوديل وحدود المنطق*»، **العلوم** ، العدد 10 (2001)، ص 40.

ومع ذلك كانت هناك معوقات في الرياضيات قاومت طويلا، لكنها استسلمت في نهاية المطاف. هل بالإمكان أن تعطينا أمثلة على ذلك؟

هناك في جميع مراحل تاريخ الرياضيات، **مُخَمَّنات** conjectures - وهي خواص تبدو صحيحة ومهمة، غير أننا لا نستطيع البرهان عليها. وقد قاوم بعضها عدة قرون قبل أن يتم البرهان عليها، في حين ظل بعضها الآخر يتحدى الرياضياتيين إلى يومنا هذا. رأينا مثلا على ذلك في العدد π وتربيع الدائرة: كان التخمين في مطلع القرن التاسع عشر يرى أن العدد π عدد **متسام** transcendant، ومن ثمّ فتربيع الدائرة قضية مستحيلة. وهذا ما أثبته فعلا <ليندمان> بعد نصف قرن، وكان ذلك عام 1882. وهناك مثال آخر يتعلق بمخمّنة الأعداد الأولية تعطي تقديرا لندرة الأعداد الأولية (وهي الأعداد التي

تمثّل نظرية گوديل نتيجة مُحدِّدة محيّرة جدا، وهي نتيجة مركزية في كل تفكير يتعلق بطبيعة الرياضيات.

لا تقبل القسمة إلا على 1 أو على ذاتها) عندما تتزايد (هذه الأعداد) في الكبر. وكان <گاوس> قد تنبأ بالنتيجة عام 1792، لكن البرهان عليها أتى بعد أكثر من قرن (كان ذلك عام 1896) على أيدي <J. أدامار> و <C. دي لاڤالي پوسين> (كلٌّ على حدة). واللافت للانتباه أنه توجد مخمّنة أخرى تقدم توضيحا إضافيا بخصوص تناقص كثافة الأعداد الأولية، إنها «فرضية ريمان Riemann». وقد تمت صياغة هذه المخمّنة عام 1850، ومازالت حتى الآن من دون برهان، وهي تشكّل اليوم إحدى أهم مخمّنات الرياضيات. ويبقى أن نعرف ما إذا كان الأمر يتعلق بعائق ظرفي أو أنه يعكس صعوبة أكثر عمقًا.

هل تُطرح هذه القضية بخصوص مخمّنات أخرى عصيّة؟

نعم، لقد طرحت على سبيل المثال في حالة مخمّنة فيرما Fermat التي أصبحت نظرية عام 1994، بفضل <A. وَيلز>[1]، وذلك بعد مضي 350 سنة على ظهور نصها (تقول النظرية إن المعادلة $x^p + y^p = z^p$ لا تقبل حلولا x، y، z من الأعداد الصحيحة الموجبة إذا كان العدد الصحيح p أكبر من 3 أو يساويه). وفي العصر الحديث تساءل بعضهم، أمام عناد مخمّنة فيرما - وقد حدث هذا أيضا مع مخمنات أخرى - عما إذا كان الأمر يتعلق بعبارة لاحسمية. لكن هذا القول لا يحمل معنى إلا إذا وضّحنا نظام المسلّمات الذي نعتقد أن فيه عبارة لاحسمية. ذلك أنه لا توجد عبارات لاحسمية بصفة مطلقة، فليس هناك سوى لاحسمية نسبية، أي بالنسبة إلى نظام مسلّمات معيّن.

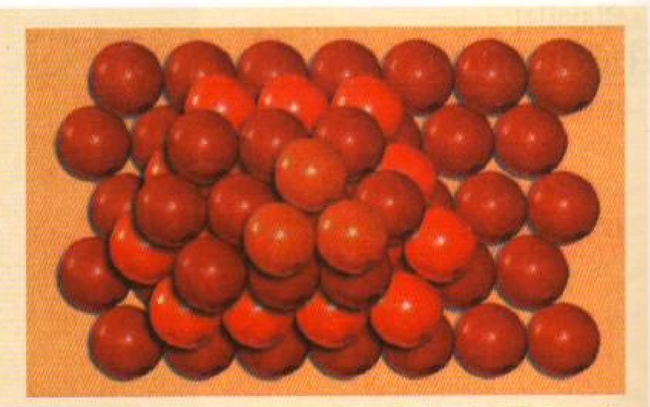
هناك نظريات لم يتم البرهان عليها إلا باستخدام الحاسوب. ألا توجد هنا محدودية لسلطة الرياضياتيين؟

سوف أعرض مثالا يوضح ما هو الوضع اليوم. لقد كانت أول مسألة تم حلها باستخدام الحاسوب استخداما أساسيا هي **مسألة الألوان الأربعة** four colour problem. تنص هذه المسألة على أن كل خريطة جغرافية مستوية (مهما كانت تعقيداتها، شريطة أن يتشكل كل بلد من منطقة واحدة) تتطلب فقط أربعة ألوان لتلوينها بشكل يكون فيه لونًا كل بلدين متجاورين مختلفين. وقد لاحظ هذه الخاصية أحد علماء الخرائط الإنكليز عام 1852، لكن البرهان لم يقم إلا عام 1976 على أيدي الرياضياتييْن الأمريكييْن <K. آپل> و <W. هاكن>. غير أن برهانهما تطلب، فيما تطلب، استعراض عدد ضخم من التشكيلات، وهو العمل الذي كُلِّف بإنجازه الحاسوب، ذلك أنها مهمة شاقة لا يمكن القيام بها يدويا. وعليه كان لزاما أن نثق في الحاسوب لتصديق برهان هذه المسألة. وهنا كان البعض منزعجا من عملية تخويل السلطة للآلة، إلا أن عمل الحاسوب يمكن أن يراقَب من خلال حاسوب آخر. وقد تمّ بعد سنوات إدخال بعض الاختصار على البرهان. ومن ثمّ، صارت اليوم بعض البراهين التي ساعد على إنجازها الحاسوب براهين مقبولة في معظم الأحيان، شأنها شأن البراهين التي يقوم بها الرياضياتي يدويًا من أولها إلى آخرها. والملاحظ أن هناك وضعيات لم تُثِر الكثير من التردد. مثال ذلك المخمّنة المسماة مخمّنة روبينس Robbins التي صيغت عام 1933، وحُلّت عام 1996 بواسطة الحاسوب. غير أن البرهان المقدّم من قبل الحاسوب كان قصيرا نسبيا، فتم التأكد منه يدويا، ومن الواضح أن ذلك أفضل.

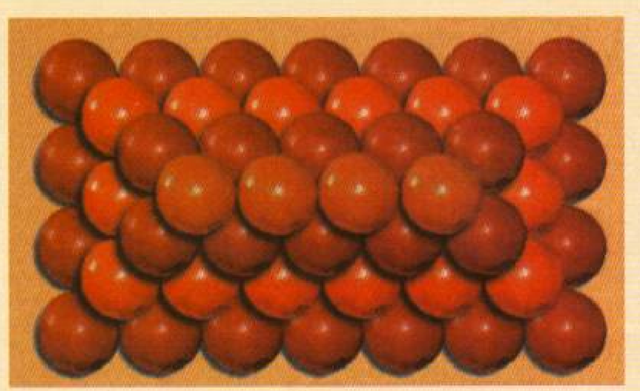
هناك أيضا حالات تظل فيها مسألة تصديق البرهان عالقة...

هذا صحيح، وهو ما حدث في مخمّنة كپلر Kepler التي تقول إن التكديسات الأكثر كثافة لكرات متطابقة لها (التكديسات) الكثافة نفسها التي نجدها بوجه خاص لدى باعة البرتقال: نعتبر تنضيدا طَبَقيا توضع فيه الكرات وفق شبكة مربعة، وتنضيدا طَبَقِيا آخر وفق شبكة مثلثية. إن لهذين التنضيدين الكثافة نفسها، وهي تساوي $\pi/\sqrt{18}$. والمطلوب هو إثبات أنها تمثّل الكثافة الأعظمية. كانت هذه المسألة مطروحة منذ مطلع القرن السابع عشر. وفي عام 1998 قدم الرياضياتي الأمريكي <T. هيلس> برهانا على مخمّنة كپلر، وهو عمل تطلب الكثير من الحسابات المعقدة قام بها الحاسوب، ولا يمكن التأكد منها يدويا. ثم إنه لا يستبعَد أن ترتكب البرامج الحاسوبية المستخدمة في هذه الحالة أخطاء حسابية: لذا ثمّة صعوبة في التحقق من البرهان. والجدير بالذكر هنا هو أن لجنة الخبراء التي كُلِّفت بفحص برهان <هيلس> قبل الموافقة على نشره لم تبت بشكل نهائي في صلاحية البرهان، لأن هؤلاء الخبراء لم يقوموا بما يكفي من الحسابات التي تمكّنهم من التحقق من البرهان. ولحل هذا الإشكال، اقترح <هيلس> حلا تمّ العمل به عام 2005 بخصوص مسألة الألوان الأربعة: يتمثّل ذلك في إعداد صيغة للبرهان (تكون فيها جميع مراحل الاستدلال والحسابات معروضة على شكل قواعد منطقية صورية تعمل ضمن نظام مسلّماتي مفروض)، ثم التحقق من البرهان بواسطة الحاسوب. إن جعل العمل على شكل قواعد أمر ليس بالسهل، لكنه سييسّر التأكد من صحة البرهان من خلال الأداة المعلوماتية. وهنا لدينا ناحية ذات أهمية خاصة: إن الحاسوب لا يساعد على إثبات النتائج فحسب بل يساعد أيضا على التأكد من براهين طويلة ومعقّدة؛ وفي بعض الحالات الخاصة يبدو الحاسوب الأداة الوحيدة التي يمكنها توفير ضمان أخير للمصداقية.

(1) انظر: «*مبرهنة فيرما الأخيرة*»، **العلوم**، العدد 1 (1999)، ص 26.



تنص مخمّنة كيلر Kepler على أن التكديسات الأكثر كثافة لكرات متطابقة، لا تتجاوز كثافتها (التكديسات) $\pi / \sqrt{18}$ وهي كثافة التكديسَيْن المنتظمين المَثلين هنا (شبكة مثلثية في اليمين، وشبكة



مربّعة في اليسار). وفي عام 1998، اقتُرح برهان طويل ومعقّد على هذه المخمّنة، لكنه لم يتم التصديق عليه لغاية الآن: بعض أجزاء هذا البرهان تستخدم برامج حاسوبية يعتبر التأكد من صحتها بالغ الصعوبة.

هل بإمكانكم تقديم بعض الأمثلة حول مخمّنات كبرى تعتبر مهمة، ومع ذلك ظلت بمثابة مسائل مفتوحة؟

ثمّة أنواع متعددة من المخمنات الرياضياتية، بل وضعت كتب خصصت بأكملها لعرض مسائل غير محلولة. كما توجد بعض المسائل الشهيرة المتميّزة ببساطة طرحها أو بأهميتها البالغة. وقد أشرت آنفا إلى فرضية ريمان. وهناك أيضا مخمنات حسابية من مميزاتها سُهولة طرحها، وهي تبدو كالنوادر، لكني لا أعتقد أنها كذلك. وإحدى هذه المخمنات مخمنة الأعداد الأولية التوائم: ثمّة

كن للحاسوب المساعدة على إثبات بعض النتائج، لكنه تطيع أيضا المساعدة على التحقق من براهين طويلة ومعقدة.

اعتقاد بأنه يوجد عدد غير منته من أزواج الأعداد الأولية التوائم، أي أزواج الأعداد الأولية التي يساوي الفرق بين عددي هذه الأزواج 2 (مثل الأزواج 17 و 19؛ 59 و 61؛ 827 و 829؛ ...). وفضلا عن ذلك يلاحظ أن تناقص الأعداد الأولية التوائم في مجموعة الأعداد الأولية هو من المرتبة نفسها التي تناقص وفقها الأعداد الأولية في مجموعة الأعداد الصحيحة جميعها. غير أنه لم يتم البرهان على وجود عدد غير منته من الأعداد الأولية التوائم، ولا على تناقص كثافتها وفق القانون الذي توحي به المشاهدات. كما أن هناك مسألة حسابية شهيرة، هي مخمّنة گولدباخ Goldbach التي تنص على أن كل عدد زوجي صحيح أكبر من 2 يكتب دائما على شكل مجموع عددين أوليين (مثال: $44 = 37 + 7$).

هل هناك وعود بمكافأة مالية لحل بعض كُبرى المخمنات...؟

نعم، وهذه هي حال المخمنة المسماة $P \neq NP$، التي تعتبر واحدة من المسائل الرياضياتية السبع التي خصصت لها عام 2000 مكافآت (مليون دولار لكل منها) من قبل **معهد كلاي** Clay[1]، ومخمنة $P \neq NP$ قضية عميقة تتناول موضوع الصعوبة في المسائل المطروحة.

لنأخذ على سبيل المثال مربعات **السودوكو**[2] sudoku التي تكون شبكاتها بحجم $3^2 \times 3^2$ (9×9)، والتي يمكن تعميمها إلى حجوم أكبر، مثل $4^2 \times 4^2$، $5^2 \times 5^2$، إلخ. ويمكن أن يكون حل مسألة من مسائل السودوكو بالغ الصعوبة، والشائع أن الصعوبة تتزايد مع ازدياد حجم الشبكة. فقد تمّ بالفعل البرهان على أن حل مسألة السودوكو ذات الحجم $n^2 \times n^2$ بالغ الصعوبة، بمعنى أنها مسألة «**NP - تامة**»[3] NP-complete. ويدل الانتماء إلى هذا الصنف من الصعوبة على أن المدة اللازمة لحل مسألة سودوكو $n^2 \times n^2$ تتزايد أسيًا مع n. غير أننا لن نكون متأكدين من ذلك إلا عندما نبرهن على أن كل مسألة «NP - تامة» مسألة صعبة أسيًا، ذلك هو بالضبط موضوع المخمنة $P \neq NP$. وثمّة العديد من الرياضياتيين والمعلوماتيين الواثقين من صحة هذه المخمنة، لكن لا أحد منهم استطاع الإتيان ببرهان عليها. والأخطر من ذلك أن هناك من يدرس بجدّ احتمال أن تكون المخمنة $P \neq NP$[3] لاحسمية ضمن النظام المسلّماتي المعتاد للحساب، إلا أنه لا يتوافر لدينا حتى اليوم أي مسلك قد يؤدي إلى برهان هذه المخمنة، إذ إن جميع الطرائق فشلت في هذا المضمار. إننا أمام لغز كبير، طرحته دعوى $(P \neq NP)$ تبدو بديهية، لكننا لا نرى سبيلا إلى إثباتها. ■

(1) طرح الألماني <D. هيلبرت> (1862 - 1943) عام 1900 في المؤتمر الدولي الثاني للرياضيات 23 مسألة رياضياتية معقّدة شغلت منذ ذاك التاريخ جميع الرياضياتيين. وقد أدى ذلك إلى ظهور فروع رياضياتية جديدة. وفي عام 2000، وأسوة بـ <هيلبرت>، بادر الأمريكي <ح. كلاي> [مؤسس معهد كلاي للرياضيات] إلى تمويل جائزة بسبعة ملايين دولار من أجل حلّ سبع مسائل رياضياتية مستعصية سميت مسائل القرن الحادي والعشرين.

(2) لعبة السودوكو: السودوكو مربع يحمل جدولا يتكون من 9 أسطر و 9 أعمدة، ويُقسم المربع إلى مربعات صغيرة تحمل جدولا بـ 3 أسطر و3 أعمدة صغيرة. يملأ جزء من الخانات بالأعداد من 1 إلى 9، ويطلب أن تملأ باقي الخانات بالأعداد من 1 إلى 9 بحيث لا يتكرر العدد نفسه في العمود نفسه، ولا في السطر نفسه، ولا في أيّ مربع من المربعات الصغيرة. ثم تطورت هذه اللعبة وأصبح المربع الكبير يحمل أكثر من 9 خانات عموديا وأفقيا. انظر: «*العلم وراء لعبة سودوكو*»، **العلوم**، العددان 7/6 (2006)، ص 22.

(3) انظر: «حدود *البحث عن سبب*»، **العلوم**، العددان 4/3 (2006)، ص 11.

قوة المحولات الريبية(*)

إن اكتشاف بقايا من عالَم منسي تُسيّره جزيئات الرنا RNA قد يقود إلى وسائل جديدة لمكافحة الأمراض.

<J. E. باريك> - <R. R. بريكر>

في خريف عام 2000، أثار فضولَنا لغز يتعلق بالطريقة التي تتدبر بوساطتها **البكتيرات**[1] أمر ڤيتاميناتها. فإضافة إلى الدليل المتزايد الذي يدعم النظرية المثيرة للتحدي المتعلقة بالحياة الباكرة على الأرض؛ جنبا إلى جنب مع جهودنا الخاصة لبناء **محولات** switches بدءا من جزيئات بيولوجية، فإن الأحجية البكتيرية وجهت مجموعتنا المختبرية في جامعة ييل للبحث عن حل لهذا اللغز. وما وجدناه كان مفاجأة تفوق كثيرا في غرابتها ما توقعناه: كان شكلا جديدا من أشكال الضبط الخلوي الذاتي، عماده واحد من أقدم أنماط الجزيئات المعروفة في الخلية؛ إنه الحمض النووي الريبي، أو **الرنا** RNA.

ومع أنه عُدّ بصورة أساسية ولردح طويل من الزمن **مرسالا**[2] متواضعًا، فقد كان يمكن أن يصير للرنا، كما اتضح فيما بعد، سلطان مهم وآليات معقدة كي يفرض الاعتراف بحقوقه. ومع أن وظائف هذا الصنف الحديث الاكتشاف من جزيئات الرنا؛ التي أطلقنا عليها اسم **المحولات الريبية** riboswitches؛ لا تزال قيد التوصيف، فمن الواضح فعلا أنها قد تقدم طرائق جديدة لمكافحة الأمراض البشرية. فمثلا، تُعوِّل كثرة من أنواع المُمْرِضات البكتيرية على المحولات الريبية كي تضبِط أوجها مختلفة من الاستقلاب الأساسي الخاص بها.

إن استمرار هذا الشكل القديم من التنظيم الذاتي في الكائنات الحية الحالية يشهد على أهمية هذا التنظيم. فالخلايا البكتيرية تتمتع بتلاؤم مدهش وبكونها مصانع كيميائية ذاتية الاعتماد مكرسة لصنع منتج واحد نهائي: نسخ لانهائية (متصلة) من ذاتها. لكن فقط الذراري - التي تمكنت من الحفاظ على هذه **السلسلة السريعة من السُّلالات**[3] في وجه ذلك التنافس المُهلك على الموارد في بيئات متغيرة - هي التي بقيت حية هذا الأجل.

ضبط المخزون(**)

إن مقدرة البكتيرة على صُنع مئات الجزيئات المعقدة المطلوبة لتتضاعف (تتنسّخ) ذاتيا خلال فترة تبلغ في قصرها عشرين دقيقة، تبدأ بجينوم **الدنا** DNA المزدوج الشريطة، الذي ينسخه كل كائن حي، جيلا إثر جيل، نسخا صحيحا مطابقا للأصل. إن كتيب التشغيل هذا مكتوب بألفباء النكليوتيدات الأربعة للدنا؛ أي القواعد (الأسس) النتروجينية: الأدينين والتايمين والسيتوزين والگوانين، التي تنتظم مرتبطة بعمود فقري يتعاقب فيه السكر والفسفات. إن ما يبلغ تسعين في المئة من دنا بكتيرة نمطية مكرسٌ لتعليمات تكوِّد تجميع قطع ماكينة الپروتين، التي تسرع وتنظم الخطوات الكيميائية للاستقلاب الضروري لبناء خلية جديدة من لاشيء.

وتُستهل تلك السيرورة في أرضية المصنع الخلوي، عندما تشرع إنزيمات پوليميراز الرنا في الإمساك بالدنا الجينومي، وتبدأ بنسخ أجزاء من مَتْنه[4] على شكل الجزيئات الكيميائية المماثلة من الرنا (**الحمض النووي الريبي المرسال**) (mRNA). وتكون الخلايا البكتيرية على عجلة من أمرها لدرجة أنه ما إن يكاد يشرع جزيء من الپوليميراز في قراءة رسالة الدنا وفي نَسْخها، حتى يزحمه جزيء آخر من الإنزيم، متلهف ليبدأ النسخة التالية من الرنا. ويُكوِّد معظم الرسائل پروتينًا مفردا، مع أن بعضها، ويُعرف **بالأوپيرونات (المشغِّلات)** operons، يصف كيفية صنع طاقم تام من **الپروتينات المتصلة تشغيليا**[5] بعضها ببعض. ويُعَدُّ الرنا من الناحية الكيميائية أقل ثباتا من الدنا، وتتعامل الخلية البكتيرية مع هذه النسخ المتعددة من **الرنا المرسال** (mRNA) وكأنها **صور ضوئية ورقية**[6]. فسرعان ما تُمزق نسخ الرنا المرسال غير المستعملة وتعيد دورتها، وبذلك تُوزع فقط

نظرة إجمالية/ منابلة محولاتٍ بالغة القدم(***)

- تعود مهمة تنظيم فاعلية الجينات عادة إلى پروتينات المراقبة، ولكن بكتيرات معينة تستعمل رسائل الرنا كي تشرف على بعض البنى التحتية الخلوية القيّمة.
- إن أشكال الرنا ذات القدرات الشبيهة بالپروتينات تقدم دعما لفرضية عالَم أولي يحكمه الرنا.
- إن المحولات الريبية التي اكتشفت حديثا هي مجموعة من جزيئات رناوية؛ تحمل رسائل تُنتسخ من الدنا، وتتخذ أيضا القرارات اللازمة فيما إذا كان يجب تنفيذ تلك التعليمات المتضمنة في الرسائل.
- تنظم المحولات الريبية عددا كبيرا من السيرورات الأساسية في الميكروبات؛ وهذا يجعل تلك المحولات أهدافا محتملة لعقاقير جديدة مضادة للميكروبات.

(*) THE POWER OF RIBOSWITCHES
(**) Inventory Control
(***) Overview/ Flipping Ancient Switches
(1) جمع بكتيرة.
(2) messenger أو رسيل.
(3) hurried chain of descent
(4) text
(5) operationally related proteins
(6) paper photocopies

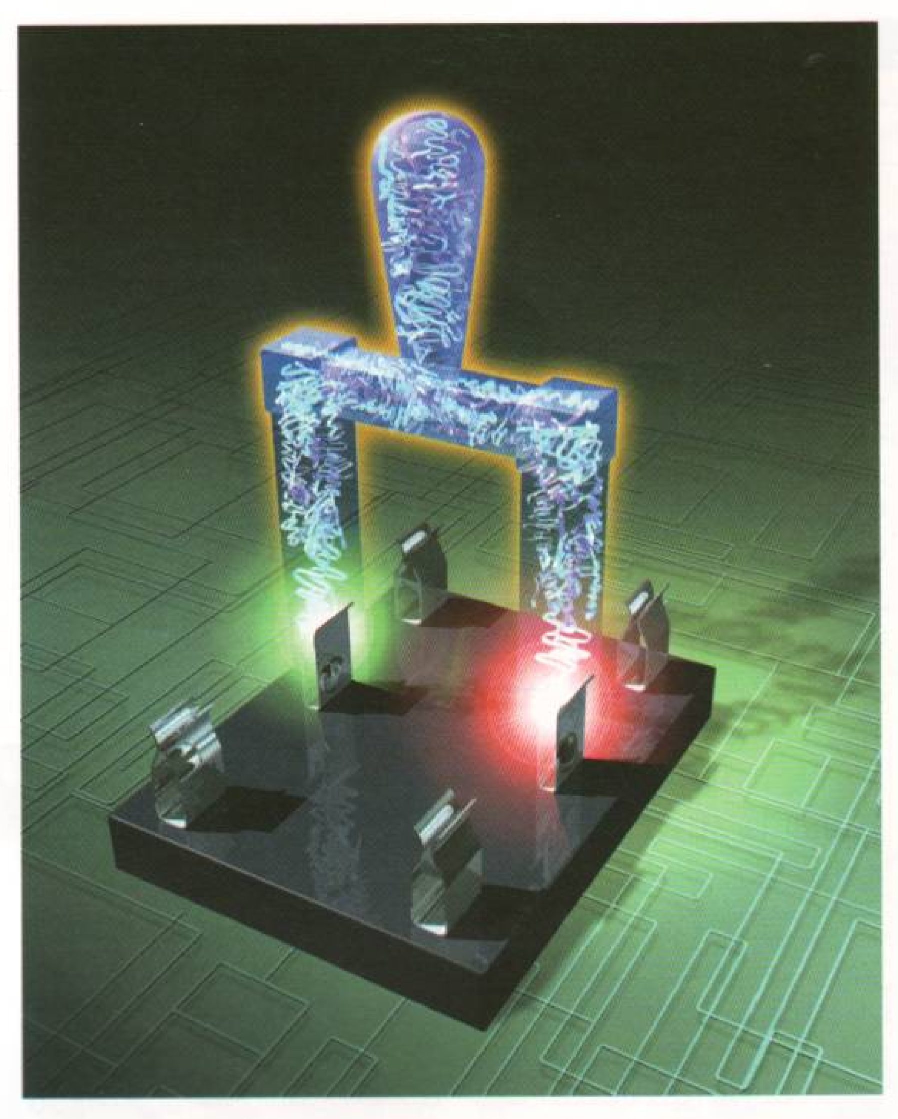
النسـخ ذات أوامر التـشـغيل الطـازجـة علـى **الريبـوسـومـات**[1]: **مـاكينـات مصنـع بناء البروتينات**[2].

كما أن الريبوسومات هي الأخرى، على عـجلة بالغـة من أمـرها، فـتـصطف نمطيا كالشاحنات الصندوقية للقطار، كي تشرع في قراءة وتنفيذ تعليمات الرنا المرسال، حتى قبل أن ينهي تماما إنزيم البوليميراز نسخ الرنا المرسال. فالريبوسومات تتحرك برشاقة على طول مسار الرنا المرسال لتحل (تفك) كـودَ كلٍّ ثلاثيـة من ثلاثيـات النكليـوتيـدات المتـعـاقـبة، مـتـرجـمـة إياها إلى الحـمـوض الأمينية النوعية التي تُكَوِّدها، وتضيفها إلى السلسلة الپپـتيـدية النامـيـة. ومع انبـثـاق الجزيء البروتيني من الريبوسوم، فإنه يتثنى على نفسه ليشكل بنية ثلاثية الأبعاد معقدة، وتتحرر بذلك قطعة جديدة من الماكينة وتغدو جاهزة للقيام بوظيفتها.

وتعتمد الخلية اعتمادا خاصا على فئتين من البروتين كي تُبقي على إنتاجها الكيميائي ناشطا على نحـو سَلس: البـروتينات الناقلة التي تحـمل جـيـئـة وذهـابا المواد الأوليـة، والإنزيمات التي تسـرع استـحـالة تلك المواد عبر خطوات متعاقبة في دوائر الاستـقلاب ومـسـالكه ذات السـرعـة البـالـغـة. ولكن البكتيـرات حريصة على ألاَّ تبدد شيئا من مواردها بصنعها بِنى تحتية غير ضرورية. لذا فقد أنشأت آليات ضبط تستطيع إعاقة نقل أوامر تشغيل تلك التجهيزات كاستجابة لتغيرات في احتياجها إلى **المغذيات**[3] ومبلغ تيسر الحصول على هذه المغذيات. وما إن فهم العلماء الكيفية التي تعمل وفقا لها تلك المراقبات الخلوية، حتى برز، بادئ ذي بدء، سر تدبر أمر الڤيتامينات.

نمطيـا، توظِّف البكتـيـرات عـددا من البروتينات تتفحص باستمرار المخزونات المتاحـة من المواد الأولية المختلفة، وتعدِّل وفـقـا لذلك عـدد البـروتينات الناقلة والإنزيمات المخصصة لكل خط من خطوط الإنتاج. فمثلا **الكابت Lac**[4] Lac repressor في بكتيرة المعى «*الإشريكية القولونية*» هو معقد بروتيني يحصر حرية الوصول إلى **النسخ الأصلية**[5] للدنا لكل من البـروتين الناقل الذي يضخ سكر اللاكـتـوز (سكر اللبن) داخل الخليـة، كـمـا يـحـصـر إنزيما يشطر جزيء اللاكتوز إلى جزيئين منفصلين ليصبح بذلك متـاحا للاستـعـمال كوقود عندما تدعو الحاجة إلى ذلك. وحالما يصبح تركيز اللاكتوز فـوق عتبـة معينـة، فـإن **مـعـقـد Lac**[6] ينفصل عن **قالب** template الدنا، فيزول فعله الكابت، الأمر الذي يسمح باستهلال انتساخ الجينات.

إن آليـة تنظيمية مماثلة، تعتمـد على بروتينـات مراقبـة، تقرر مـا يجب فـعله بشـرائط الرنــا المرســال التي انتسخت مـن الـدنـا الجـينـومي. فـفـي بكتـيـرة التـربـة «*العـضـوية الرقيـقـة*» *Bacillus subtilis* يوجد معقد بروتيني، يعرف باللفظة الأوائليـة TRAP، يتـحـكم في أوبيـرون (مـشـغل) يكود إنزيمات خـاصـة بتركيب الحمض الأميني «تريبتوفان»؛ كما يتحكم في أوبيرون آخر يكوِّن ناقل التريـبتـوفـان. فعندما يتحسس المعقد TRAP أنه لا حاجة للبكتيـرة إلى هذين البـروتينين، فـإنه يرزم (يلف) النهاية الموجِّهة (القائدة) لتعليمات الرنا المرسال حـول ذاتها رَزْمـا مـحـكمـا. وهذا الرَّزْم يمنع الريبـوسـوم من تعـرف مـوقع وظيـفي صـحـيح على نسـخـة الرنا المرسـال الخـاصـة بالبـروتين الناقل كي يشرع في الترجمة. إن مصادرة[7] النهاية الموجِّـهـة لشـريطة الرنا المرسـال المتكونة تتسبب في انثناء سائر الشريطة على شكل دبوس الشعر: تترابط شُعبتاه إحداهما بالأخرى بتزاوج (تشافع) النكليوتيدات



(1) أو الريباسات أو الجسيمات الريبية.
(2) factory's protein-building machinists
(3) أو الغُذَيّات.
(4) Lac: أوبيرون لازم لنقل سكر اللاكتوز واستقلابه في *الإشريكية القولونية* وبعض البكتيرات المعوية الأخرى، ويتكون من جينة منظمة وجينات تركيبية.
(5) blueprints
(6) Lac complex
(7) sequestration

(التحرير)

المتتام، الأمر الذي يؤدي إلى إنهاء انتساخ الرسالة على نحو مبتسر (قبل الأوان) [*انظر المؤطر في الصفحة المقابلة*].

إضافة إلى هذه التجهيزات الخاصة بتنظيم ماكينة تصنيع البروتينات الخلوية الأساسية، فإن البكتيرات تتجول حاملة صندوق أدوات ضخما، تصنع بوساطته مواد كيميائية دخيلة. فمثلا، علينا نحن البشر أن نحصل على المغذيات، التي نسميها فيتامينات، مما نأكل؛ في حين أن البكتيرات تعرف كيف تصنعها بتجميعها من لاشيء. إن مجموعة كبيرة من الفيتامينات الأكثر تعقيدا هي في الواقع نسخة محوَّرة من **تميمات الإنزيمات**[1] coenzymes: إنها، كما يلمح إلى ذلك اسمها، جزيئات صغيرة تساعد الإنزيمات البروتينية على إنجازها وظائفها؛

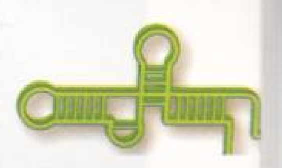
بذات صلة. وبغية فهم كيف حدث ذلك، لا بد إذًا من العودة ثانية إلى الريبوسوم.

ميراث عالم الدنا[*]

قد تشكل البروتينات العجلات وأسنان العجلات والقنوات والأحزمة (السيور) التي تنقل المواد الأولية إلى داخل خلايا جديدة، ولكن ليست جميع التجهيزات الأساسية في المصنع (الخلية) مبنية من البروتين. والأكثر جدارة بالذكر أن للريبوسوم لُبّاً يتكون من النكليوتيدات ذاتها التي تشكل رسائل الرنا المرسال التي يقرؤها. ومع أن **الرنا الريبوسومي**[2] (rRNA) يستهل كنسخة من **شريط التلغراف الكاتب**[3] لنسخة الدنا الأصلية، فهو يختلف عن الرنا المرسال في

مثيرة للفضول. فمثلا أدينوزيل كوبالامين (تميم إنزيم B_{12}) يحتوي على **نكليوتيد كامل من الرنا**[4]؛ كما أن بيروفسفات التيامين (تميم إنزيم B_1) تحمل معها **قطعة** piece ذات عمود فقري يتألف من السكر والفسفات. ويبدو أن تلك **القطع** bits من النكليوتيدات تعمل كمقابض تمسك بها البروتينات. وحينئذ صرّح ‹هوايت› أنه يمكن أن تكون هذه القطع بقايا أثرية، تعود إلى **زمن بدئي سحيق**[6] لم تطور فيه بعد **الخلايا البدئية** proto cells تخزين الدنا الحديث أو تركيب البروتين. وبدلا من ذلك، فإن الرنا كان يقوم حينذاك بمهمة مزدوجة: جزيء يختزن المعلومات **وبوليمر**[7] **بيولوجي** biopoloymer قادر على الانثناء ليشكل ماكينة استقلابية، ويؤدي الوظيفة المعقدة المنوطة عموما ببروتينات اليوم.

وفي بدايات الثمانينات تم اكتشاف مثالين «حيين» على هذه العناصر القديمة من الرنا، أحدهما الإنزيم RNase P: جزيء رنا يوجد في البكتيرات التي تستطيع أن تشطر نسخا من الرنا الخام. أما المثال الآخر فهو تسلسلات مدهشة من الرنا **تحرر** edit نفسها بنفسها من نسخ أطول من الرنا المرسال، فتنجز تفاعلات الشطر الذاتي من خلال سلسلة تبادل روابط كيميائية. وقد فاز ‹S. ألتمان› [من جامعة ييل] و‹T. R. سيش› [من جامعة كولورادو ببولدر] بجائزة نوبل للكيمياء عام 1989 لاكتشافهما، على نحو مستقل، هذه البيانات التي أوضحت أن جزيئات الرنا ـ التي كان ينظر إليها حتى حينها على أنها مجرد **رسائل سلبية غير فعالة**[8] ـ تستطيع التثني في شكل بِنى ثلاثية الأبعاد معقدة، وتسرِّع التفاعلات الكيميائية، تماما كما تفعل الإنزيمات البروتينية. وإجمالا، سميت إنزيمات الرنا هذه، بما في ذلك



كانت هذه النسخ الضوئية تنثني كأوراق أوريجامي[9] ممسوسة[10]، وتختار مصائرها الذاتية.

إنها أدوات تخصص ذات وظائف كيميائية فعالة، تماثل المسدسات المسمارية أو أدوات قطع الماس. وللمسارات الاستقلابية الطويلة صلة ببناء تميمات الإنزيمات من مواد أولية. ومن الطبيعي أن تضبط البكتيرات المقتصدة هذا البناء الثمين بإحكام، وذلك بإيقاف المسارات الاستقلابية عندما لا تكون هناك حاجة إلى تميمات الإنزيمات.

وفي وقت متأخر من التسعينات تحرى العلماء بدقة الكيفية التي يتم بوساطتها تنظيم صنع بعض تميمات الإنزيمات في البكتيرات، فتعرّفوا طرزا جزيئية تذكّر بمنظومتي TRAP والكابت Lac. ومع ذلك، فإن محاولاتهم تعرُّف بروتينات الرقابة المسؤولة عن تحسس كل تميم إنزيمي والتحكم في انتساخ أو ترجمة الرنا المرسال استجابة لهذا التحسس، تمخضت عمليا عن لاشيء. وبرز سر أكثر غموضا: إذا لم يكن عن طريق بروتينات رقابة افتراضية، فكيف يمكن إذًا لماكينة الخلية أن تقيس مستويات تلك **المغذيات** nuetrints؟ لقد أتت الإجابة غير المتوقعة من أعمال الباحثين الذين يدرسون تطبيقات لجزيئات الرنا، وهي ظاهريا ليست

أنه لا يحتوي على تعليمات لصنع شيء آخر. وبدلا من ذلك، فإن الرنا الريبوسومي يتثنى آنيا على نفسه في شكل محدد تماما، تترابط في داخله قواعد النكليوتيدات بعضها ببعض، فتتشابه كثيرا مع الحلقة الطرفية المُنهية لدبوس الشعر.

ويتثنى الرنا الريبوسومي على نطاق أكبر بكثير، ليتضمن عددًا من الوحيدات التي تتقوى مواضعها أكثر فأكثر بتحويرات كيميائية دقيقة. ويقوي قوام البروتين ودعامته **أفلاع**[4] هذه **الوحيدات** subunits ويغلف سطوحها. لكن دراسات البنية بالتحليل الذري أوضحت أن لب الريبوسوم المسؤول عن تحفيز تكوين الروابط الجديدة بين الحموض الأمينية، يتألف حصرا من الرنا.

ومما لا ريب فيه أن البراهين الحديثة على بِنية الرنا ذي المقدرة البروتينية التحفيزية كانت موضع إثارة لدى حَسَني الاطلاع على نظرية بداية الحياة التي تقدم بها في نهاية السبعينات ‹H. هوايت III› [من جامعة ديلاوير]. فقد لاحظ هذا الباحث أن كثرة من تميمات الإنزيمات المهمة يحتوي تركيبها الكيميائي على مكونات من الرنا

(*) RNA World Legacy

(1) أو مساعدات الإنزيمات أو الكوانزيمات.

(2) أو الريبي أو الريباسي.

(3) ticker-tape trascript

(4) crevices

(5) RNA nucleotide

(6) primordial time

(7) ويقال أيضا: متماثر ، مكثور.

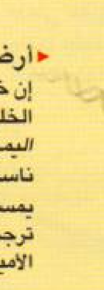
(8) passive messages

(9) origami فن ياباني مشهور خاص بطي الأوراق وتشكيلها في صورة أسماك وطيور وحشرات.

(10) possessed (التحرير)

پروتينات المراقبة في المصنع الخلوي[*]

لكي يتناسق في البكتيريات صنع الأجزاء التي تحتاج إليها لتبقى وتتضاعف (تتنسّخ) ولجعلها أقرب ما يكون إلى الكمال والفاعلية، تستعمل هذه الخلايا نمطيا پروتينات مراقبة. وتستطيع هذه الپروتينات أن تكبت إنتاج التجهيزات حتى تستشعر الحاجة إليها، وتتحسس أن المواد الأولية اللازمة لصنع هذه التجهيزات متاحة. إن معرفة الآليات التي تستعملها البكتيريات ساعدت على اكتشاف وجود المحولات الريبية.



▸أرضية المصنع

إن خطوط التجميع ذات الحركة السريعة تصنع التجهيزات الخلوية بناء على التعليمات المُكَوَّدة في جينات الدنا (*في اليمين*). تتحرك إنزيمات پوليميراز على طول شريط الدنا، ناسخة جينة معينة إلى نسخة من الرنا المرسال (mRNA). يمسك الريبوسوم بالرنا المرسال بمجرد انبثاقه، ويشرع في ترجمة الرسالة التي يحملها إلى سلسلة من الحموض الأمينية؛ تنثني على نفسها لتشكل پروتينا كاملا (وظيفيا).

إدارة المخزون◂

تنظم پروتينات المراقبة صنع البكتيرة لأجزائها الأساسية من خلال آليات منوعة (*في اليسار*).

يقوم معقد كابت Lac[1] Lac supprocer (*في الأعلى*) بوقف تشغيل جينة تُكَوِّد إنزيم شطر اللاكتوز عن طريق إحصار إنزيم الپوليميراز من الوصول إلى الدنا وذلك في حال غياب اللاكتوز. ولكن عندما يكون تركيز اللاكتوز مرتفعا، فإن أحد مستقلباته يرتبط بأقلاع (بشقوق) clefts في وحيدات Lac[2]، فيتحرر الدنا ويتم تشغيل الجينة.

ينظم المعقد TRAP عمل الجينات ذات الصلة بتركيب ونقل الحمض الأميني «تريپتوفان»، وذلك باعتراضه نسخ مراسيل رناوات هذه الجينات بطريقتين. ففي حال وجود التريپتوفان، يرزّم هذا الحمض الأميني نهاية التسلسل الموجِّه (القائد) للرنا المرسال الخاص بتركيب التريپتوفان حول نفسها، مسببا تغير شكل جزء من شريط الرسالة إلى شكل دبوس الشعر؛ وهذا يتسبب في إنهاء الانتساخ على نحو مبتسر (قبل الأوان) (*الشكل السفلي الأيمن*). كما أن التريپتوفان يعزل التسلسل الموجِّه الخاص بمرسال نقل التريپتوفان، فيحصر الريبوسومات من الوصول إلى موقع استهلال الترجمة (*الشكل السفلي الأيسر*).





الريبوسومات، «**الريبوزيمات**» ribozymes.

وفي بدايات التسعينات تطورت أدوات البحث الخاصة بمنابلة الجزيئات البيولوجية خارج الخلايا الحية تطورا استطاع معه الباحثون أن يجربوا باستعمالهم استعمالا خلاقا القدرة المكتشفة حديثا للرنا ليثني نفسه ويتخذ أشكالا وظيفية ومعقدة. وجزئيا، كان العلماء ينشدون اختبار الاستعمالات المتعددة للرنا، ومن ثم معقوليةَ فرضية عالم الرنا؛ كما أنهم كانوا يبحثون عن تطبيقات تقانية بيولوجية (حيوية) جديدة للريبوزيمات.

وتمثل إسهام مجموعتنا البحثية في هذا المسعى بما قادنا في النهاية إلى تقصي ما بعد الپروتينات، وذلك في ما يتعلق **بالمنظمات الغامضة (الخفية)**[3] لإنتاج تميمات الإنزيمات البكتيرية.

مِحَسّات طبيعية[**]

لقد طورت مختبرات <L. گولد> [من جامعة كولورادو ببولدر] و<G. جويس> [من معهد سكريبس للأبحاث] و<J. W. شوستاك> [من مستشفى ماساتشوستس العام] طريقة لإحداث التطور في أنبوب الاختبار، مكّنتهم من إخضاع تريليونات من تسلسلات الرنا التركيبية لاختبار دارويني؛ أي إن الجزيئات الأصلح (الأكثر تلاؤما) ستستمر. فباستعمال هذا التطور التجريبي (في أنبوب الاختبار)، اكتشفت مجموعة <شوستاك> وبسرعة تنوعات من بِنى رناوية قصيرة

(*) PROTEIN SUPERVISORS IN THE CELLULAR FACTORY
(**) Natural Sensors
(1) Lac repressor
(2) Lac subunits
(3) mysterious regulators

يمكنها أن ترتبط ارتباطا وثيقا بثالث فسفات الأدينوزين (ATP)، وكذلك بملونات عضوية كثيرة وبحموض أمينية وبمضادات حيوية.

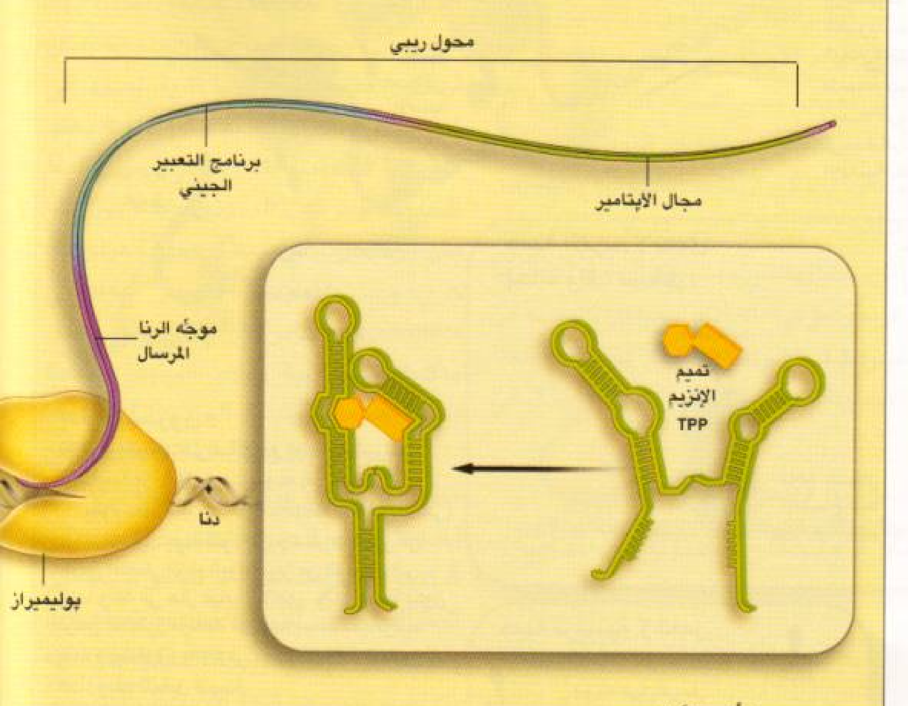
أطلق <شوستاك> على جميع هذه الجزيئات الرناوية التي استولِدت في المختبر اسم **أبتاميرات (الملئمات)** aptamers، وهو مصطلح اشتق من الاسم اللاتيني aptus ويعني **ملائم (صالح)** fitted. وعلى الرغم من منشئها اللاطبيعي، فإن أبتاميرات كثيرة تمتلك خاصية (نوعية) أكثر أهمية في السياق البيولوجي من مجرد ارتباطها بإحكام بجزيئاتها المستهدفة: إنها ترفض جزيئات ذات تراكيب شديدة العلاقة.

لقد شرع مختبرنا في استثمار هذه الانتقائية الرفيعة بتصميم **محَس** sensor يُصنع من الرنا. وكانت الخطة تقتضي إنشاء أبتامير بمقدوره تعرف الجزيء المستهدف، وذلك بارتباطه به ووصله بقطعة أخرى من الرنا يمكنها أن تؤشر لحدث الوصل بمُقَرِنة مرئية. وبغية تحقيق الدور الأخير، وقع اختيارنا على الريبوزيم **رأس المطرقة**[1] hammer head. وقد سمي كذلك بسبب بِنيته ذات الشكل المميز، وهو واحد من الريبوزيمات المعروفة ببساطة بنيتها وبكفاءتها العالية في **الشطر الذاتي** self-cleaviage الطبيعي. فيمكننا، مثلا، أن نربط **ميسما متفلورا (متالقا)** flourescent tag بإحدى نهايتي شريطتي رأس المطرقة والتي تسمى مجموعة كابحة توهن الفلورة تقع على مقربة محكمة من الميسم، وذلك ضمن بنية الرنا المنثنية. وما إن تعثر نهاية أبتامير (خاص بجهازنا) على الجزيء المستهدف وترتبط به، حتى يفصل الشطر الذاتي الذي يقوم به رأس المطرقة المجموعةَ الكابحة عن الميسم المتفلور، فيضيء عندئذ الجزيء نفسه، كما لو أن الستار أزيل عن المصباح.

وقد برهن الرنا على تلاؤمه مع وظيفة المحس هذه لدرجة أننا استطعنا في ما بعد أن نطور ريبوزيمات مقترنة بأبتاميرات قادرة على تحسس تنوعات واسعة من الجزيئات وتقرير وجودها. ويمكن تصفيف مجموعتنا من المَحسات على شيبة بالغة الصِّغر، واستعمالها للكشف الدقيق عن مركبات كيميائية كثيرة ومختلفة على نحو متزامن،

محولات ذاتية التقرير(*)

يعتمد تنظيم خلوي ذو شكل جديد، عُثر عليه مؤخرا، على نسخ رناوية معينة من الجينات لتر نفسها بنفسها. إن المحولات الريبية هي قطع من نهاية التسلسل المُوجّه (القائد) لنسخة الرنا المرس يمكنها أن تعين احتياج الخلية من البروتين المُكوَّد (المُرمَّز) في بقية الرسالة، فتعيد عندئذ تنظيم ش الذاتي لتقرر في ما إذا كان ذلك البروتين سيُصنع. لذا، فالمحولات الريبية تمتلك مجالين مهمين: أبتا (ملئم) يتحسس مُستقلبا معينا (*في الأسفل*)، وبرنامج تعبير جيني يؤثر في مصير الرنا المرسال يُخضعه لواحد من عدد كثير من إعادة التنظيمات البنيوية الممكنة (*في اليسار*).



تحسس المُستقلَبات

إن أبتاميراً لتميم (مساعد) الإنزيم تيامين البيروفسفات (TPP) يحقق شكلا محددا (*في اليمين*)، وذلك عند مغادرته البوليميراز. وفي حال وجود تميم الإنزيم TPP فإن الأبتامير يرتبط به قابضا على الجزيء بإحكام (*في اليسار*).

وذلك حتى ضمن مزيج معقد.

وبالفعل، فإن الوضع الذي مكننا من أن ننشئ **رناوات** RNAs تتحسس جزيئات صغيرة وتحفز ذلك الترابط على إعادة تنظيم هادف لِبناها الذاتية، جعلنا نتساءل عما إذا كان التطور الطبيعي قد أنشأ أنواعا مشابهة من الرناوات. فالريبوزيمات من عالم الرنا لا تزال تؤدي بوضوح مهاماً حاسمة في الكائنات الحية المعاصرة. فهل توجد تسلسلات غير مكتشفة لماكينات مهمة أخرى من الرنا، مخبأة في الجينومات المعاصرة؟

لقد شرعنا في تفحص سريع للأبحاث العلمية المنشورة (الأدبيات العلمية) بحثا عن إلماعات تشير إلى وجود ملئمات طبيعية، ولكننا لم نعثر إلا على إشارات مربكة تدل على وجود تسلسلات رناوية غير مُكوِّدة، يُعرف أنها مهمة بطريقة ما للتنظيم الخلوي. وعندئذ قادنا تقصينا إلى سر البكتيرات وڤيتاميناتها. فقد لفتت انتباهنا تنويهات بالبروتين BtuB الذي يشكل جزءا من جهاز نقل مساعد الإنزيم B_{12} إلى داخل بكتيرة *الإشريكية القولونية* *E. coli*. وتبدأ نسخة الرنا المرسال التي تكوِّد البروتين BtuB بموجِّه (بقائد) ضخم يتكون من 240 نكليوتيدا غير مُكوِّد، وزودنا طوله الاستثنائي بمفتاح

(*) SELF-DETERMINING SWITCHES

(1) الجزء الضارب من المطرقة.

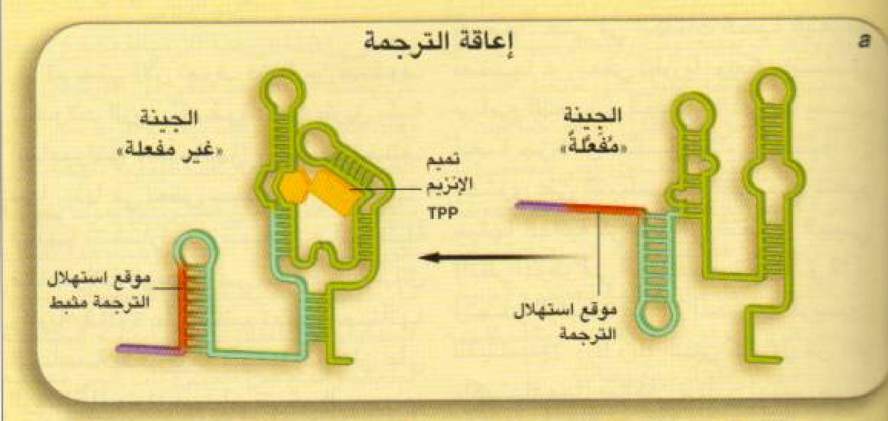
اللغز الأول لاحتمال أن تكون لهذا التسلسل وظيفة غير عادية. كما أن فريقا بحثيا آخر قد بين فعلا أن إنتاج البروتين BtuB يتثبط عندما تكون تراكيز الڤيتامين B_{12} في الخلية مرتفعة. ومع هذا، فلم يتم اكتشاف پروتين خفير يستشعر الڤيتامين B_{12}.

ونحن نعلم من أبحاث سبق أن نشرها آخرون بأن وجود الڤيتامين B_{12} يمنع بطريقة ما ترابط الريبوسومات بالرنا المرسال الخاص بالپروتين BtuB. وألمحت تجربة واحدة أيضا إلى أن تغيرا تركيبيا ما في تسلسل الرنا المرسال الموجِّه قد حدث في وجود الڤيتامين B_{12}. فهل من الممكن أن يكون التسلسل الطويل للرنا المرسال الموجِّه والخاص بالپروتين BtuB قد احتوى على أپتامير طبيعي رابط للڤيتامين B_{12}؛ عمل على تنظيم التعبير عن التعليمات المكودة في الجينة ذاتها الخاصة بهذا الپروتين؟

لقد استعملنا تقنية **السبر في الخط** in-line probing لوضع خريطة لأجزاء رسالة الرنا المرسال المكوِّد للپروتين BtuB، والتي أصبحت أكثر نظاما أو أكثر قابلية للانثناء في وجود الڤيتامين B_{12}، ووجدنا بوضوح أكثر ثنية (انجدالا) جديدة قرب بداية منطقة تكويد الرنا المرسال الخاص بالپروتين BtuB، ويمكن لهذه البنية أن تفسر تثبيط ترابط الريبوسوم. وفي ما يبدو، أن الرنا المرسال ذاته يتحسس الڤيتامين B_{12}، فينظم نقله بالطريقة نفسها التي ينظم بوساطتها الپروتين TRAP رسالة نقل التريپتوفان في *العَصَوِيَّة الرقيقة B.subtilis* بمنع الريبوسوم من ترجمة هذه الرسالة. وبناء على ذلك، أطلقنا على هذا الجزيء من الرنا، الذي يستطيع أن يحول التعبير الجيني من **التشغيل إلى الإيقاف** from on to off، اسم «**المحول الريبي**» riboswitch.

وفي الوقت الذي كنا نتحرى فيه التسلسل الموجِّه الخاص بالپروتين BtuB، لفت انتباهنا أيضا وضع آخر لتنظيم غير مفسَّر. فلقد حدد بحث سابق أن أنواع الرنا المرسال المُكَوِّدة لإنزيمات تركيب الڤيتامين B_1، ونواقل تميماته الإنزيمية في مجموعات مختلفة من البكتيرات تحوي جميعها **مَدًا**[1] مشتركا من تسلسل الرنا، وأن الطفرات في هذا التسلسل عطلت الكبت السوي لهذه الجينات في الخلايا التي تراكمت فيها كميات كافية من الڤيتامين B_1. وفي الإشريكية القولونية أوپيرون (مشغل) إنزيمي تركيبي يمتلك مَدا موجها (قائدا) يحوي هذا التسلسل قرب الموقع الذي تبدأ فيه ترجمة الپروتين الأول. وقد استطعنا البرهنة على أن الڤيتامين B_1 يحث على تغير تركيبي في هذا الرنا المرسال على نحو ينغلق فيه بإحكام موقع الارتباط الخاص بالريبوسوم. وبعد ذلك حددنا أن مجالا صغيرا ضمن التسلسل الموجِّه، يتألف من 91 نكليوتيدًا فقط، يستطيع أن يرتبط بالڤيتامين B_1. وكمحسَّاتنا الصنعية، فإن هذه المحولات الريبية الطبيعية تكونت من مجال أپتامير (ملثم) منفصل، يترابط بتسلسل «استجابي» وظيفي يتيح له تنظيم في ما إذا كان الڤيتامين B_1 سيُنتج.

لذا، لقد عثرنا على الأقل على نوعين من الرنا المرسال يتمتعان بمقدرة استثنائية على مراقبة الشروط الخلوية، وعلى اتخاذ قراراتها الذاتية فيما إذا كانت الماكينات الپروتينية التي تُكَوِّدها ضرورية كي تعمل دون تدخل من پروتينات مناظرة. فهذه النسخ الضوئية الورقية ليست رسائل سلبية غير فعالة، إنها تنثني مثل أوراق أوريجامي المسوسة، وتختار مصائرها الذاتية. وقد برهن هذان النوعان من الرنا المرسال على أنهما أكثر من مجرد شيئين غريبين نادرين؛ ذلك أن أعضاء فريقنا البحثي، ومجموعات





استجابات المحول الريبي

تستعمل المحولات الريبية أنواعا مختلفة من الاستراتيجيات كي تضبط صنع الپروتينات. ففي حال غياب تميم الإنزيم TPP مثلا، يمكن لبرنامج التعبير الجيني أن يترك موقع استهلال الترجمة متاحا للريبوسوم، فيسمح بذلك للتعبير عن التعليمات الجينية أن يبقى «في حالة تشغيل» (*a، في اليمين*). أما في حال ارتباط تميم الإنزيم TPP بالأپتامير، فإن بإمكان برنامج التعبير الجيني أن يشكل دبوس شعر يُثبط الترجمة؛ وهذا «يوقف تشغيل» الجينة (*a، في اليسار*). ويشكل المحول الريبي الذي يتحسس تميم إنزيم فلاڤين وحيد النكليوتيد (FMN) دبوس شعر مُنْهٍ يوقف انتساخ الرسالة الخاصة بوساطة البوليميراز (*b*). إن ريبوزيما استثنائيا أُستثير من قبل الكلوكوز أمين-6-فسفات (GlcN6P) يشق ذاته بشطر نفسه بنفسه (*c*).

[1] stretch

بحثية أخرى، تعرفوا بسرعة **محولات رناوية** RNA switches **طبيعية** استجابت لتنوعات أخرى من **المستقلبات** metabolites الخلوية الأساسية، وكانت هذه المحولات كامنة في المراجع العلمية.

لقد ثبت في النهاية أن تسلسلا مشتركا مع أقارب للبكتيرة من *العَصَوِيَّة الرقيقة* *B.subtilis* هو محول ريبي يتعرف تميم الإنزيم SAM (S-أدينوزيل متيونين S-adenosylmethionin). ومن جهة أخرى، عُرف أن عنصرا رناويا يصادف في رسائل ـ تركيب ونقل تميم الإنزيم **فلاڤين الوحيد النكليوتيد** (الڤيتامين B_2 flavin mononuclotide)، وهو أيضا محول ريبي آخر. ويعتقد أن مقطعا من الرنا المرسال يكود پروتينا يراقب الحمض الأميني «ليسين» في الإشريكية القولونية يشكل، في حقيقة الأمر، قطعة من **معقد أپتامير الليسين** lysine aptamer complex الذي ينظم تركيب هذا الحمض الأميني في طيف واسع من البكتيرات. وخلاصة القول: إن المحولات الريبية هي شكل واسع الانتشار من أشكال التحكم الجيني.

المحولات الريبية والهندسة الارتدادية(*)

تم حتى الآن تعرف دزينة من صفوف المحولات الريبية، عُرفت عن طريق بنية أپتاميراتها (ملئماتها) ومع أنها تختلف فيما بينها في بعض سماتها وآليات عملها؛ فإنها تتشارك في مبادئ عامة قليلة فالمحولات الريبية هي نسخ من رسائل رناوية؛ قادرة على تنظيم تعبير جيناتها الخاصة بتقريرها فيما إذا كان على الرسالة المحتواة فيها أن تترجم إلى پروتين أو يجب تدميرها قبل أن يقرأها الريبوسوم. ويتخذ المحول الريبي هذا القرار بضبط ومراقبة احتياج الخلية للپروتين الذي يُكَوِّده من خلال مقدرته على تحسس مستقلَب مستهدف، ثم تغيير تركيبه الثلاثي الأبعاد استجابة لذلك. فالمحول الريبي يحتوي إذًا على قطعتين مهمتين: تسلسل أپتامير الذي يتحسس المستقلَب، وتسلسل قطاعه التنظيمي المتضمن برنامج التعبير الجيني.

ويعمل أپتامير مستقبلا معقدا لمستقلب واحد نوعي ذي جزيء صغير. ولجميع أپتاميرات أفراد الصف الواحد لب له البنية نفسها؛ حتى في الكائنات الحية البعيدة بعضها عن بعض تطوريا. ويمكن لتسلسل برنامج التعبير الجيني، الذي قد يشمل أيضا جزءا من تسلسل أپتامير نفسه، أن يحتوي على التسلسلات التي تعيد تنظيم بنيتها الذاتية كي تؤثر في التعبير الجيني [*انظر المؤطر في الصفحتين 50 و 52*]. وتجدر الإشارة إلى أن المحولين الريبيين للڤيتامينين B_{12} وB_1 اللذين كنا أول من قام باكتشافهما؛ يمتلكان برنامج تعبير جيني يمنع استهلال الترجمة، وذلك بأن يعمدا بنفسيهما إلى تغيير شاكلتيهما كي يخبئا في طياتهما التسلسلات التي يحتاج إليها الريبوسوم ليتعرف مثلا أمرا صحيحا بقراءة الرسالة. وهنالك أمثلة أخرى على محولات ريبية تحتوي على هذه الأپتاميرات نفسها؛ تمتلك برنامج تعبير جيني يتسبب بإنهاءٍ مُبتسرٍ (قبل الأوان) لانتساخ الرنا المرسال عن طريق تشكيل دبوس شعر يعمل على خط فاصل **مُنْهٍ** terminator.

ومع تعاظم معارف فريقنا البحثي عن المحولات الريبية، أخذنا نثمن أكثر فأكثر كيف أن التطور وازن بحذر بين التأني والاندفاع اللذين شكلا جوهر آلية عمل المحولات الريبية. فمثلا، يجب أن يحدث تمييز المستقلبات داخل الخلية في خلال مجرد ثوان قليلة؛ وهو الزمن الذي يحتاج إليه الپوليميراز كي ينتسخ التسلسل الموجِّه للرنا المرسال، ولترتبط به الريبوسومات وتشرع في الترجمة. لذا، فإن سرعة ارتباط المستقلبات، وليس بالضرورة قوة هذا الارتباط، أصبحت حاسمة لتحديد في ما إذا كان محول ريبي ما يستطيع أن يتحسس هدفه. فتسلسل التوقيت بين الأپتامير وبرنامج التعبير الجيني، الذي يجعل الپوليميراز يتوقف عن الانتساخ توقفا وجيزا، ضروري أحيانا لإحداث تأخير يتيح للأپتامير وقتا كافيا كي يأسر مستقلبًا ويعيد تنظيم برنامج تعبيره الجيني كما ينبغي.

عندما بدأنا بمسح جينومات بكتيرية بغرض البحث عن نماذج جديدة من المحولات الريبية، وجدنا أنه مازالت هناك مفاجآت أكثر.

أهداف مغرية(**)

إن عددا كبيرا من البكتيرات، بما في ذلك المُمْرضات البشرية المبينة أدناه؛ يستعمل المحولات الريبية كي تضبط فاعليات جيناتها الخاصة بها. لذا، يمكن للعوامل التي تستثير تلك المحولات الريبية أن تعمل كصفوف جديدة من المضادات الحيوية، وبخاصة إذا كانت العقاقير تُبطل وظيفة جينات أساسية لقُوْعة (ضراوة) الكائن الحي أو لبُقياه. وقد أدرج أدناه عدد صفوف المحولات الريبية التي توجد في كل كائن حي، وعدد الجينات التي يُعرف بأنها تُنَظَّم من قبل المحولات الريبية. وقد وضعت العلامة * فوق العدد للدلالة على أن جينة حيوية واحدة على الأقل تُنظَّم بوساطة محول ريبي.

ممرض بكتيري بشري	صفوف محولات ريبية	أعداد الجينات التي يتم تنظيمها
Acinetobacter baumannii	4	6
Bacillus anthracis	9	82
Brucella melitensis	5	21*
Enterococcus faecalis	7	17
Escherichia coli	4	15*
Francisella tularensis	4	8
Hemophilius influenzae	5	15*
Helicobacter plyori	1	2
Listeria monocytogenes	9	49
Mycobacterium tuberculosis	3	13
Pseudomonas aeruginosa	3	27
Salmonella enterica	3	34*
Staphylococcus aureus	8	30*
Streptococcus pneumoniae	5	19
Vibrio cholerae	5	13
Yersinia pestis	3	11

(*) Reverse-Engineering Riboswithces

(**) Tempting Targets

فقد تعرفنا في جينوم *العضوية الرقيقة* وحدها ثمانية تسلسلات جديدة تحمل تواقيع المحولات الريبية. وكان واحد منها يحمل أپتاميرًا مزدوجًا؛ يعمل على تشغيل التعبير الجيني أكثر من عمله على إيقافه. كما ثبت أن بِنية أخرى لا تعمل كمحول ريبي فحسب؛ بل أيضا كريبوزيم تستثيره المستقلبات. وعوضا عن أن يبادر هذا الجزيء إلى إعادة تراتب شاكلته بِنيويا، فإن برنامج تعبيره الجيني يشطر في الجوهر نفسه ذاتيا، ويتلف نفسه بنفسه قبل أن تتم ترجمة رسالته.

إن صفا واحدا فقط من صفوف المحولات



هنالك فقط كِسَر وقطع صغيرة من عالَم الرنا المنسي تبدو اليوم موجودة بين ظهرانينا.

الريبية التي اكتُشفت حتى الآن لوحظ في الكائنات الحية العديدة الخلايا؛ أما الصفوف الباقية، بحسب علمنا، فقد عُثر عليها في البكتيرات فقط. إن لجينومات الكائنات الحية الأعلى وسائل تنظيم جيني أكثر تعقيدا من البكتيرات؛ كما أن المسلك من النسخة الأصلية (الجينة) إلى البروتين أكثر التواء. وعوضا عن نسخ ضوئية أنيقة من الرنا المرسال فإن نسخ المسودات الأولى للجينات غالبا ما تشمل فقرات (تسلسلات) طويلة من المتن غير المكوِّد، تعرف **بالإنترونات** introns، يجب **إزالتها بالتجديل** spliced out قبل أن تبدأ ترجمة الرسالة إلى بروتين. لقد عثرنا على محول ريبي في قاع حجرة تنقيح متن الرسالة.

يُصادَف أپتامير تميم الإنزيم B_1 في تسلسلات الإنترونات ضمن أوپيرونات تركيب الثيامين في الكثير من الفطور والنباتات؛ بما في ذلك الأرزّ. وعندما يترابط بالڤيتامين B_1، فإن هذه المحولات الريبية تبدو وكأنها تسبب إعادة تنظيم بنية الرنا حول وصلات (مواصل) الإنترونات فتمنع التجديل من البدء (الإنجاز). ولما كانت تفاصيل هذه السيرورة غير واضحة؛ فإن ذلك قد يحول الرسالة برمتها إلى سلة المهملات أو يمنعها من الارتحال إلى المكان الصحيح في الخلية حيث تتم ترجمتها.

ومما يثير الاهتمام أنه عثر على عقّار معروف يعمل مضادا فطريا، ويربط إليه في الوقت نفسه المحول الريبي للڤيتامين B_1. وتقترح الأدلة أن هذا الارتباط يخدع الفطر كي يعتقد أن لديه ما يكفي من الڤيتامين B_1؛ وهذا يتسبب في وقف تركيب المزيد منه. ولأن الفطر لا يمتلك فعلا هذه المغذية المهمة، فإن نموه يتباطأ، ويمكن أخيرا أن يموت نتيجة عَوَز هذا الڤيتامين. وكما يوضح هذا المثال، فإن المحولات الريبية تعمل كمنظمات حيوية لإمدادات من المغذيات الحاسمة الخاصة بطيف واسع من الميكروبات التي تصنع أيضا أهدافا مغرية لمضادات حيوية جديدة.

ويعرف حاليا أكثر من دزينة من المُمْرِضات البشرية التي تعتمد على تنظيم المحولات الريبية لكثير من المستقلَبات المهمة (*انظر المؤطر في الصفحة المقابلة*). ويجتهد كثير من الباحثين كي يعثروا على جزيئات تخدع أپتاميرات المحولات الريبية البكتيرية؛ لتحسبها عن طريق الخطأ مستقلبات طبيعية، فتستثير بهذه الطريقة استجابة تنظيمية جينية ستكون ضارة بالخلايا البكتيرية.

وتستكشف أيضا بعض المجموعات البحثية الفكرة وراء استعمال محولات ريبية صنعية لضبط فاعلية الجينات داخل الخلايا الحية؛ في مجال المعالجة الجينية مثلا. وتمثل الهدف بتصميم **محول تشغيل-إيقاف** on-off switch يُستثار عن طريق جزيء حميد شبيه بالعقار ثم يدمج المحول داخل جينة علاجية. وعندئذ يمكن غرز هذا البناء الجيني في خلايا المريض؛ كما يمكن تنظيم فعله بأن يُعطى الشخص المعالج حبات دوائية تحتوي على الجزيء الذي يُفعّل المحول الريبي المصمم. وكما هي الحال في تطبيقات المضادات الحيوية، فإن هذا الاستعمال للمحولات الريبية لا يزال في مراحل البحث المبكرة.

إن الشعور العام المتمثل بالمفاجأة والإثارة ـ والذي استُلهم من اكتشاف الريبوزيمات، والجهود المبذولة للإفادة من هذه الجزيئات القديمة في تطبيقات حديثة ـ قد يجدد الوجود الفعلي للمحولات الريبية. فهنالك فقط كِسَر وقطع من عالم الرنا المنسي تبدو موجودة اليوم بين ظهرانينا، ولكن هذه الأدوات الرناوية بآلياتها المعقدة وأدوارها التنظيمية تشبثت بالحياة تشبثا عنيدا كي تستمر في الكائنات الحية المعاصرة. ولا يسعنا إلا أن نتساءل عما إذا كانت المحولات الريبية هي آخر آثار عالم الرنا التي تصادف اكتشافها، أم إن هنالك جزيئات أولية أخرى لا تزال تستعملها مصانع المُستقلَبات، أو الأدوار التنفيذية للخلايا الحديثة ـ ربما أيضا في خلايانا البشرية ذاتها ـ وتنتظر من يكتشفها. ■

المؤلفان

J. E. Barrick - R. R. Breaker

بحثا معا في تنوع وأهمية المحولات الريبية وذلك في مختبر <بريكر> بجامعة ييل. <باريك> حاليا زميل لما بعد الدكتوراه في جامعة متشيگان، حيث يدرس تطور البكتيرات، إضافة إلى برامج الحاسوب الذاتية التضاعف (التنسّخ). وتستمر مجموعة <بريكر> في استكشاف طبيعة الحموض النووية واستعمالاتها، وجزئيا بإنشاء عناصر ضبط جيني مصمم مصنوعة من الرنا، وكذلك تطوير مضادات حيوية لاستهداف محولات ريبية طبيعية.

مراجع للاستزادة

The Origin of Life on the Earth. Leslie E. Orgel in *Scientific American*, Vol. 271, No. 4, pages 52–59; October 1994.

Thiamine Derivatives Bind Messenger RNAs Directly to Regulate Bacterial Gene Expression. Wade Winkler, Ali Nahvi and Ronald R. Breaker in *Nature*, Vol. 419, pages 952–956; October 31, 2002.

Metabolite-Binding RNA Domains Are Present in the Genes of Eukaryotes. Narasimhan Sudarsan, Jeffrey E. Barrick and Ronald R. Breaker in *RNA*, Vol. 9, No. 6, pages 644–647; June 2003.

Riboswitches as Antibacterial Drug Targets. Kenneth F. Blount and Ronald R. Breaker in *Nature Biotechnology* (in press).

Scientific American, January 2007

طرق أفضل لاستهداف الألم(*)

حاز ‹B. ساموليلسون› جائزة نوبل في الفيزيولوجيا أو الطب عام 1982، وذلك عن أبحاثه في تقديم صورة دقيقة عن الكيفية التي يولّد بها الجسم البروستَكلنديناتِ prostaglandins. وهذه المواد الشبيهة بالهرمونات تؤدي دورا في تنظيم عدد من السيرورات البيولوجية، بما في ذلك التحريض على الألم والحرارة والالتهاب. ومن المعروف أن هذه السيرورات تُثبَّط من قبل الأسپرين والإيبوپروفن والأدوية المشابهة لهما. وقد أجرى ‹ساموليلسون› أبحاثه هذه، بالتعاون مع ‹S. بركستروم› [وهو شريك في جائزة نوبل للعام نفسه (1982)]، في حرم معهد كارولينسكا المعروف بآجره الأحمر في السويد، وهذا المعهد يقوم أيضا باختيار الفائز بجائزة نوبل السنوية في الطب.

إن لمعهد كارولينسكا تاريخا طويلا مع البروستكلندينات، يعود إلى عام 1935 عندما اكتُشفت مشتقات هذه الأحماض الدهنية، ويمتد إلى يومنا الحاضر. لقد قام ‹ساموليلسون› ومساعدوه في السنوات الأخيرة بأبحاث أكثر تفصيلا عن التركيبة البيوكيميائية للبروستكلندين تُستَغلُّ حاليا في محاولة لتطوير أدوية قاتلة للألم ومضادة للالتهاب أكثر أمانا من المواد المتوافرة حاليا، بما في ذلك المجموعة التي تشوهت سمعتها حديثا والمعروفة بالمثبطات COX-2. ويُعلق على ذلك ‹ساموليلسون› قائلا: «هناك طلب هائل على الأدوية المضادة للالتهاب، وإذا تمكنا من تطوير دواء له نفس فعالية العقاقير السابقة، لكن مع تأثيرات جانبية أقل، فإن هذا الأمر يغدو من الأهمية بمكان.»

الشجرة والفروع(**)

في البيان الصحفي الصادر عن معهد كارولينسكا عام 1982 تم الثناء على حصول ‹ساموليلسون› على جائزة نوبل، واعتُرف بفضل هذا العالِم في المعرفة المتوافرة حاليا عن شجرة البروستكلندين بجميع فروعها.» لقد بين ‹ساموليلسون› أنه يتم تصنيع البروستكلندين عندما يعالَج أحد الأحماض الدهنية (الحمض الأراكيدوني arachidonic acid) المتواجد في غشاء الخلية بالإنزيمات وفق سلسلة من التفاعلات (*انظر المؤطر في الصفحة 56*). وتُسفر هذه التفاعلات في النهاية عن مركبات تؤمن أعمالا تنظيمية مختلفة داخل

(*) BETTER WAYS TO TARGEL PAIN

(**) The Tree and Its Branches

إن تعميق فهمنا للطرق الكيميائية التي يعمل بها كل من الأسپرين والڤيوكس، قد يؤدي إلى إنتاج أدوية لتسكين الألم ذات مضاعفات جانبية أقل.

<G. ستيكس>

الجسم، فتضمن على سبيل المثال، أن الكليتين تحصلان على تدفق كاف من الدم، أو تنظم تقلصات الرحم أثناء الولادة والحيض، أو تقدح زناد عملية الالتهاب (الذي يستدل عليه بالاحمرار والتورم) كارتكاس لحماية النسج من الخمج أو الأذى.

يقوم الأسپرين، والأدوية الأخرى المضادة للالتهاب غير الستيرويدية كالإيبوپروفن، بإيقاف مفعول الإنزيمين اللذين يعملان في أولى مراحل تشكيل البروستگلندين: سيكلوأكسجيناز 1 و 2 (COX-1 و COX-2). وهكذا يتوقف إنتاج جميع مشتقات البروستگلندين بكبح الإنزيمات COX.

إلا أن الأسپرين و**أقرباءه** relatives تسبب أحيانا مشكلات خاصة بها نتيجة لهذا الكبح الشديد. فعندما يقوم الأسپرين بتثبيط إنتاج البروستگلندين المسؤول عن الالتهاب، فإنه يقوم في الوقت ذاته بتثبيط عمل واحد أو أكثر من مشتقات الحمض الأراكيدوني التي تحمي بطانة المعدة من حمض كلور الماء الموجود في العصارات الهضمية. وفي عام 1990 قامت شركات الأدوية بإجراء تصحيحي عندما أنتجت الدواءين ڤيوكس Vioxx وسليبركس Celebrex وأدوية أخرى تقوم بشكل خاص بحجب الإنزيم COX-2، بحيث تُترك سليمة بعض البروستگلندينات الخاصة بحماية المعدة والتي تُفرَز استجابة لفعالية الإنزيم COX-1.

إلا أنه اتضح أن إعاقة الإنزيم COX-2 لها عواقبها الخاصة به. فهذا التعطيل على ما يظهر يوقع الفوضى في سلسلة من التفاعلات المعقدة بين البروستگلندينات. فمع أن إيقاف عمل الإنزيم هذا ينقص من تصنيع **البروستگلندين** E_2 (PGE_2)(*) الذي يعتقد أن له دورا رئيسيا في تحفيز الألم والالتهاب، إلاّ أنه يخفّض كذلك من تصنيع **البروستاسايكلين**(*) PGI_2، وهو بروستگلندين واق للقلب يقوم بتوسيع الأوعية الدموية ويمنع الصفيحات من التكدس (أي إنه يقاوم التخثر). وهذا التخفيض قد يتسبب في نتائج خطيرة.

في عام 1999، ذكر <G. فيتزجيرالد> [من المركز الطبي بجامعة پنسلڤانيا] في تقرير له نشر في «وقائع جلسات الأكاديمية الوطنية للعلوم بالولايات المتحدة الأمريكية» عن تجربة سريرية صغيرة أوضحت ظاهرة تثبيط PGI_2. وبيّن <فيتزجيرالد> كذلك أنه عندما ينقص PGI_2 بعد تناول مثبط الإنزيم COX-2، فإن الثرومبوكسان thromboxane، وهو نوع آخر من البروستگلندين يتم إنتاجه في أقنية الحمض الأراكيدوني، يبقى فعالا ويحث على انقباض الأوعية وتكتل الصفيحات ـ الأمر الذي عادة ما يعاكسه PGI_2. وأوضح التقرير أن عدم التوازن هذا قد يشجع على تشكل **الخثرات** thrombosis التي قد تؤدي إلى الهجمات القلبية والسكتات ـ وهو استنتاج المحامين في دعاوى قضائية ذاعت أخبارها وقد أثيرت في السنوات الأخيرة ضد مصنّعي الأدوية

(*) سنرمز فيما يلي للبروستگلندين E_2 بالرمز PGE_2 وسنرمز للبروستاسايكلين بالرمز PGI_2.

كيف ننتج أدوية أفضل من الأسبرين والفيوكس(*)

إن أحد مسببات الألم والالتهاب والحرارة في الجسم هو إنتاج كميات كبيرة من جزيء يدعى بروستكلندين E_2 (PGE_2) (*الخطوات 1-3 في الشكل*) من قبل خلايا الالتهاب. يعمل الأسبرين Aspirin والفيوكس Vioxx وأنواع أخرى من الأدوية القاتلة للألم على تثبيط الإنزيمات التي تحفز تصنيع البروستكلندين (*المؤطران في الأعلى*). ولكن بعض أنواع البروستكلندينات والمواد الأخرى التي تنتجها هذه الإنزيمات هي مواد مفيدة، ويؤدي توقيف إنتاجها إلى مضاعفات جانبية. ولهذا فإن العاملين على تطوير الأدوية يدرسون وسائط جديدة، مثل مثبطات الإنزيم mPGES-1، التي تعيق فقط تركيب كميات زائدة من الإنزيم PGE_2، وبذلك تسمح بتصنيع المواد المفيدة (*المؤطر السفلي*).

كيف يعمل الأسبرين

يقوم الأسبرين والأدوية اللاستيرويدية المضادة للالتهاب بإعاقة عمل كل من الإنزيمين COX-1 و COX-2، مما يثبط إنتاج كافة أنواع البروستكلندين، بما في ذلك المفيدة منها.

كيف تعمل مثبطات الإنزيم COX-2

يسبب الإنزيم COX-2 الألم والالتهاب عن طريق رفع مستويات البروستكلندين PGE_2 عبر طرق تشمل إنزيما يدعى mPGES-1. وبإعاقة الإنزيم COX-2 بواسطة أحد الأدوية (فيوكس Vioxx أو سيليبركس Celebrex أو بيكسترا Bextra أو غيرها من المثبطات)، توقف هذا الارتفاع في مستوى PGE_2. ويبقى تهديد هذه الأدوية بأذى المعدة قليلا، لأن من المفروض أن يبقى PGE_2 يُصنع بكميات عادية بتوجيه من الإنزيم COX-1 وإنزيم آخر يدعى cPGES. إلا أن مثبطات الإنزيم COX-2، تقلل أيضا من مستوى البروستكلندين PGI_2 الذي يحمي الجهاز الوعائي. وهذا التدني قد يفسر ارتفاع نسبة حوادث الهجمات القلبية والسكتات لدى أولئك الذين يتناولون هذه الأدوية.

كيف تعمل مثبطات الإنزيم mPGES-1

هذه الوسائط التي ما تزال قيد التطوير، تعيق عمل mPGES-1 بشكل خاص، وهو الإنزيم الذي ينتج بكميات كبيرة بإيعاز من الإنزيم COX-2 في الخلايا التي ترتكس لأذى الالتهاب. وقد يفيد إنقاص الإنزيم m PGES-1 لوحده دون الإنزيمات المسؤولة عن تصنيع كميات طبيعية من البروستكلندينات، في التحكم بمستويات PGE_2 في الجسم، وبذلك يؤدي إنقاص هذا الإنزيم إلى الخلاص من الألم دون إلحاق أذى بالقلب وجهاز الهضم.

1 وتقوم معظم الخلايا بشكل روتيني بتصنيع البروستكلندين من خلال تفاعلات تبدأ بإنزيم يدعى COX-1 ويعمل على الحمض الأراكيدوني Arachidonic acid. فعندما يتعرض أحد النسج لأذية حادة، تعطى إشارة كيميائية إلى الخلايا البلعمية وإلى خلايا التهابية أخرى في المناطق المجاورة لمكان الإصابة لزيادة نشاط الإنزيم COX-2 الذي يؤثر أيضا في الحمض الأراكيدوني.

2 يقوم الإنزيمان COX-1 وCOX-2 بتحويل الحمض الأراكيدوني في تفاعل مرحلي إلى مركب كيميائي وهو البروستكلندين E_2 (PGE_2).

3 عقب ذلك، تقوم إنزيمات إضافية بتحويل البروستكلندين PGH_2 إلى بروستكلندينات أخرى وإلى ثرومبوكسان، بحيث يكون لكل منها وظيفة خاصة بها (*أسفل الشكل*). وفي النهاية تنطلق جميع البروستكلندينات - بما في ذلك PGE_2 الذي ينتج الألم - لتؤثر في الخلايا الأخرى.

إشارة التهابية

ليبيدات

الحمض الأراكيدوني

الإنزيم COX-1

الإنزيم COX-2

PGH_2

الإنزيم cP6ES-1

الإنزيم cP6ES

إنزيمات

PGE_2 PGI_2 TXA_2 PGF_2 PGD_2

البروستكلندينات وتأثيراتها المختلفة

البروستكلندين D_2 (PGD_2)
له تأثير في تنظيم النوم والارتكاسات التحسسية.

البروستكلندين F_2 (PGF_2)
يقوم بضبط تقلصات الرحم أثناء المخاض والحيض.

الثرومبوكسان A_2 (TXA_2)
يحرض انقباض الأوعية الدموية ويحث الصفيحات على الارتصاص (التخثر).

البروستكلندين (PGI_2)
يوسع الأوعية الدموية ويثبط ارتصاص الصفيحات (التخثر)، وقد يحمي من التصلب العصيدي ومن أذية بطانة المعدة.

البروستكلندين E_2 (PGE_2)
له علاقة بالألم والالتهاب والحرارة، ويحمي من أذية المعدة.

(*) Improving on Asprin and Vioxx

المثبطة للإنزيم COX-2. وقد بدأ <فيتزجيرالد> بتقديم تقارير عن اكتشافاته في المؤتمرات عام 1997، أي قبل سنة من الموافقة على أول مثبط الإنزيم COX-2، وهو الدواء سيليبركس Celebrex.

وعندما كانت مجموعة <فيتزجيرالد> تكشف عن إشارات التحذير الأولية بالأخطار المشار إليها، كانت مجموعة <ساموِيلسون> للأبحاث تجهد «لوضع ورقة جديدة» على أحد فروع شجرة الپروستكلندين. فقد تزعَّم أحد الزملاء المتخرجين في مختبر <ساموِيلسون>، ويدعى <J.-P. جاكوبسون>، مشروعا اكتشف من خلاله النسخة البشرية للإنزيم الذي ينتج PGE_2. وانتهى ملخص البحث الذي نشر عام 1999 والذي شارك فيه <جاكوبسون> و<ساموِيلسون> وباحثون آخرون بعبارة مشجعة تقول إن الإنزيم المكتشف «هو هدف جديد ممكن لتطوير الأدوية.»

وقد استرعت هاتان المقالتان انتباه عالمين من معهد كارولينسكا كانا قد أنشأ شركة صغيرة أسمياها بَيوليپوكس Biolipox. وكانت هذه الشركة قد فتحت أبوابها في عام 2000 لتطوير أدوية مضادة للالتهاب في أمراض التنفس عن طريق معالجة صنف من المركبات البيوكيميائية (الكيمياوية الحيوية) اكتشفت حديثا تدعى إيوكسينات eoxins، وهي مشتقة أيضا من الحمض الأراكيدوني. وقررت الشركة بعد سنة أن تنوع منتوجاتها، فحصلت من معهد كارولينسكا على رخصة الحماية الفكرية للإنزيم المسمى **الإنزيم التركيبي للپروستكلندين E الجسدي الميكروي**[1] (mPGES-1). هذا وإن أي دواء يعيق انتقائيا تصنيع الإنزيم لـ PGE_2، يمكن أن يوقف الألم والالتهاب من دون تأثيرات جانبية هضمية أو قلبية وعائية، لأنه لن يخفض من مستويات PGI_2. وتقول <Ch. إيدينوس> [المسؤولة العلمية الرئيسية في الشركة بيوليپوكس]: «لقد أدركنا أنه من الممكن أن يكون هذا مفيدا كجيل ثالث من مضادات الالتهاب اللاستيرويدية.»

تحرير المثبطات[*]

تقع الشركة بَيوليپوكس اليوم في بناء غير مميز يحتوي أيضا على المكتبة العلمية وقسم المعلوماتية البيولوجية والأقسام التدريسية التابعة لحرم معهد كارولينسكا. وقد عُيِّن <ساموِلسن> مستشارا علميا وعضوا في مجلس إدارة هذه الشركة. وعقدت الشركة بوهرينگر إينگلهيم Boehringer Ingelheim، التي تُصنِّع دواء موبيك Mobic المثبط للإنزيم COX-2، اتفاقية مع الشركة بيوليپوكس عام 2005 لتمويل الأبحاث المتعلقة بالإنزيم mPGES-1، ومن ثمّ الترخيص للمثبطات الجديدة من حيث التطوير النهائي والتسويق.

والسوق الأمريكي، الذي يستوعب سنويا ما ينوف ثمنه على العشرة بلايين دولار من الأدوية القاتلة للألم غير المخدرة، متحدا مع فادحة الإنزيم COX-2، جعل شركات أخرى توجّه اهتماما كبيرا للإنزيم. فقد نشرت الشركة ميرك دراسة عن مثبطات الإنزيم mPGES-1، وتقدمت الشركة فايزر pfizer بطلب براءة اختراع لفأر سُحبت منه الجينة المسؤولة عن عمل الإنزيم mPGES-1، الأمر الذي يساعد على فحص تأثيرات تثبيط هذا الإنزيم. كما تقدمت شركات أدوية كبيرة للحصول على براءات اختراع متعلقة بالإنزيم mPGES-1. ويعلق <فيتزجيرالد> على كل هذا قائلا: «إن صفائح الأرض تتزحزح، فهناك اليوم سوق هائل لأدوية جديدة بسبب عدم الضمانة التي تتصف بها الأدوية المتوافرة حاليا.» وأضاف قائلا: «إن إحدى الشركات، التي لا يمكنني الكشف عن اسمها، تخطط للقيام في عام 2007 بتجارب بشرية سريرية خاصة بمثبط الإنزيم mPGES-1.» (وبشكل مستقل، تحاول شركات مصنعة أخرى تطوير أدوية تتحد مع مستقبلات PGE_2 وتقوم مباشرة بإعاقة عملها).

إن المحن التي تعرض لها الدواء ڤيوكس قد تعيق الإسراع في تقديم أي دواء جديد مضاد للالتهاب إلى الأسواق، وفي الواقع، قام المشككون برفع أصواتهم. ففي عام 2006 نُشرت مقالة في مجلة «*الاتجاهات الجديدة في العلوم الدوائية*»[2] عنوانها: «*هل الإنزيم mPGES-1 هدف واعد في علاج الألم؟*». وقد أثارت إشكالية ما إذا كانت سيرورات الاستقلاب (الأيض) المعقدة للپروستكلندين ستحبط مساعي الوصول إلى دواء جديد. ووردت في المقالة ملاحظة أن تثبيط الإنزيم mPGES-1 قد يخفض من إنتاج PGE_2، ولكنه قد يؤدي إلى إنتاج أعلى من نوع آخر من الپروستكلندين، مع حُدوث نتائج فيزيولوجية غير معروفة. ثم إن معظم أنواع الپروستكلندين الأخرى، وليس فقط PGE_2، تؤدي بعض الدور في إثارة الألم.

والتجارب السريرية الخاصة بتقدير درجة الأمان والفعالية على الجنس البشري هي وحدها القادرة على حل أي خلاف حول هذه المسألة. لكن الدراسات الأولية على الفئران التي أُزيل من أجسادها الإنزيم PGES-1 تعطي بعض الأمل. وقد ذُكر في أحد التقارير الصادرة عن مجموعة <فيتزجيرالد> لعام 2006 أن الفئران التي نُزع منها الإنزيم mPGES-1 زادت فيها مستويات PGI_2 المريحة للقلب، فيما ظل ثابتا مستوى الثرومبوكسان thromboxane الضار، وفي الوقت نفسه، بقيت قدرة الدم على التخثر وضغط الدم طبيعيين. وأوضحت دراسة لاحقة قام بها فريق <فيتزجيرالد> أن حذف الإنزيم mPGES-1 قدم عددا من الفوائد الوعائية القلبية، ربما بسبب تنشيط PGI_2.

وتستمر التجارب للحصول على مركبات تكرر تأثير إخماد الإنزيم mPGES-1. وقد بدأت الاستعدادات للقيام بالخطوة الحساسة التالية، وهي الانتقال من التجارب على الفئران إلى الإنسان. ■

(*) Unleashing Inhibitors
(1) microsomal prostoglandin E synthase
(2) *Trends in Pharmacological Sciences*

مراجع للاستزادة

Identification of Human Prostaglandin E Synthase: A Microsomal, Glutathione-Dependent, Inducible Enzyme, Constituting a Potential Novel Drug Target. Per-Johan Jakobsson, Staffan Thorén, Ralf Morgenstern and Bengt Samuelsson in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 96, No. 13, pages 7220–7225; June 22, 1999.

Is mPGES-1 a Promising Target for Pain Therapy? Klaus Scholich and Gerd Geisslinger in *Trends in Pharmacological Sciences*, Vol. 27, No. 8, pages 399–401; August 2006.

Deletion of Microsomal Prostaglandin E Synthase-1 Augments Prostacyclin and Retards Atherogenesis. Miao Wang, Alicia M. Zukas, Yiqun Hui, Emanuela Ricciotti, Ellen Puré and Garret A. FitzGerald in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 103, No. 39, pages 14507–14512; September 26, 2006.

Scientific American, January 2007

الأفلام السينمائية في عيوننا(*)

تعالج الشبكية معلومات تفوق كثيرًا ما تخيَّله أي شخص على الإطلاق، بحيث تُرسِل دستة أفلام سينمائية مختلفة إلى الدماغ.

<F. ويربلين> ـ <B. روسكا>

كثيرًا ما نأخذ قابلياتنا الإبصارية المذهلة كأمر مسلَّم به، بحيث لا يتوقف إلا قليل منا متفكرًا في الكيفية التي نحقق بها الرؤية فعلياً. ولعدة قرون، ربط العلماء بين آلة المعالجة الإبصارية وآلة التصوير التلفازية: إذ تركِّز عدسة العين الضوء الداخل على **صفيف**[1] من المستقبلات الضوئية في الشبكية. وتحوِّل هذه المكاشيف الضوئية تلك الفوتونات بطريقة سحرية إلى إشارات كهربائية، يجري إرسالها على طول العصب البصري إلى الدماغ لمعالجتها. ولكن التجارب الحديثة التي أجريناها نحن الاثنين وغيرنا، تشير إلى أن هذه المضاهاة الوظيفية غير كافية. فالشبكية تقوم في الواقع بإجراء كم هائل من سيرورات المعالجة في داخل العين مباشرة، ومن ثمّ تُرْسَل سلسلة من **العروض** representation الجزئية إلى الدماغ لتفسيرها.

لقد توصلنا إلى هذا الاستنتاج المدهش بعد قيامنا باستقصاء شبكيات عيون الأرانب المشابهة بشكل رائع لشبكيات عيون البشر. [وقد أدى عملنا على شبكيات عيون حيوانات السلمندر، وهو نوع من الضفدعيات، إلى نتائج مماثلة]. إن الشبكية فيما يبدو هلالٌ بالغ الصغر من مادة دماغية جرى إبعادها إلى محيط الجسم من أجل أن تحظى باتصال مباشر مع العالم الخارجي. ونتساءَل هنا كيف تُركِّب الشبكية العروض التي ترسلها؟ وكيف "تبدو" هذه العروض عندما تصل إلى المراكز الدماغية الإبصارية؟ وكيف تنقل تلك العروض الثراء الضخم للعالم الحقيقي؟ وهل تضفي هذه العروض أي معان تساعد الدماغ على تحليل مشهد ما؟ هذه التساؤلات هي مجرد بعض الأسئلة الملحة التي شرع بحثنا في الإجابة عنها.

لقد وجدنا أن خلايا عصبية متخصصة (أو عصبونات) قابعة عميقًا داخل شبكية العين، تقوم بإرسال ما يُعتقد بأنه دستة **مسارات** tracks من أفلام سينمائية (بمعنى **مستخلصات متميِّزة** distinct abstractions من العالم المرئي). ويجسد كل مسار بيانًا ابتدائيًا لأحد جوانب المشهد الذي تواصل الشبكية تحديثه وإرساله إلى الدماغ. فعلى سبيل المثال، ينقل أحد المسارات صورة تشبه الرسم التخطيطي، بحيث لا تحدد إلاّ حافات الأشياء؛ في حين يستجيب مسار آخر للحركة التي غالبًا ما تكون ذات توجيه معين، كما تحمل بعض المسارات الأخرى معلومات حول الظلال والإنارات. هذا ولا يزال من الصعب تصنيف بعض العروض الأخرى في أبواب تخصُّها.

يتم نقل كل مسار بواسطة حشد من الألياف تخصُّه ضمن العصب البصري إلى المراكز العليا في الدماغ، حيث يحدث المزيد من سيرورات المعالجة الأكثر تعقيداً. [وللجهاز السمعي البشري كذلك بنيان مماثل، إذ ينقل كل عصب سمعي معلومات تخصُّ مجالاً محدودا جدا من طبقات الصوت pitches، ثم يقوم الدماغ بعد ذلك بتجميعها معا]. لقد بين الباحثون الذين يدرسون القشرة الإبصارية أن الصفات المختلفة (مثل: الحركة واللون والعمق والشكل) تُجرى معالجتها في مناطق مختلفة من الدماغ، وأن إصابة منطقة معينة يمكن أن تسبب عجزًا في حس وإدراك وفهم صفة محددة ما. ولكن مقدرة الدماغ على مجرد استكشاف مثل هذه الصفات إنما تنشأ في المقام الأول في **الأفلام السينمائية الشبكوية** retinal movies.

تبيِّن الأشكال في الصفحات التالية أفضل تفسيراتنا فيما يخصُّ الكيفية التي تقوم بها الشبكية بابتداع الصور الكهربائية **السريالية** surreal التي تخبر الدماغ بالمعلومات. وبمتابعة بحثنا سنبدأ بإلقاء بعض الضوء على الكيفية التي أنشىء وفقها كل فيلم من هذه الأفلام السينمائية، ولكننا لا نستطيع بأي حال

(*) THE MOVIES IN OUR EYES

(1) array



من الأحوال تقديم نموذج كامل. هذا وتحمل الأفلام السينمائية الاثنا عشر كافة المعلومات التي سوف يستقبلها الدماغ في أي وقت لتأويل العالم المرئي. ولكننا لا نستطيع حتى الآن أن نقول كيف يتم دمج أنماطها وأشكالها. ربما كانت تلك الأفلام السينمائية تعمل **كدالاّت** clues أوّلية، كنوع من **السقالات** scaffolding يُشيَّد عليها الدماغ مضامينه. ولا يختلف هذا المفهوم كثيرًا عما يوصف «**بعين العقل**» mind's eye التي تُسبك كلمات رواية ما في حكاية هادفة.

ومع أن عروض الشبكية فيما يبدو تلتقط الحقائق الإبصارية لمشهد ما (كمائدة عشاء أو شلال أو وجه يتحدَّث) بشكل تام، فإن هناك مكونات أساسية تبدو مفقودة. فلا شيء يتعلق بالمشاعر أو المواقف أو الحبكة أو المبارَة يظهر ماثلاً. ربما تكون تلك السمات أصيلة إلى حد ما في مسارات الأفلام السينمائية التي يترجمها الدماغ، أو ربما نكون باستخدامنا شبكيات عيون الأرانب قد فشلنا في العثور على جميع العروض التي يمكن أن تلتقطها شبكية العين البشرية ـ والمتمثلة في عروض عالية الميز يمكن أن تستخلص نعوتا كالمشاعر بطرق مازال علينا أن نكشف عنها النقاب.

ومع ذلك فمن الواضح أن **عروض الشبكية** retina's representations تشكل لغة إبصارية طبيعية. ويتمتع اليوم فهم هذه اللغة بأهمية خاصة. فثمة مجموعات بحثية على امتداد العالم تحاول إعادة حاسة الإبصار إلى المكفوفين، وذلك عبر إدخال **محَسٍّ** sensor صنعي أمام العصب البصري مباشرة، بحيث يقوم مقام الشبكية. لقد تقدم هذا العمل، ولكن لا تزال النتائج فجّة نسبياً، إذ لا تزال **المبثوثات** transmission تقتصر على ترجمات مبهمة للنماذج الأساسية. لقد بدأت تجارب على البشر في معهد Doheny Eye التابع لجامعة ساذرن كاليفورنيا. وثمة تجارب مماثلة على وشك الانطلاق في كلية الطب بجامعة ولاية واين. صحيح إن الهدف النهائي لهذه المحاولات بعيد المنال على الأرجح، بيد أن نجاحها يكمن أخيرًا في تزويد الدماغ بأنماط من النشاط تشبه تلك التي تزوده به الشبكية في الأحوال الطبيعية، بما في ذلك اللغة الطبيعية للرؤية. وسوف يتمثّل التحدي اللاحق في اكتشاف كيفية **شبك** hook-up كل صفة تجريدية بألياف مناسبة في العصب البصري.

إن الفهم المفصل للغة الطبيعية للإبصار التي تتكون داخل الشبكية ضروري لصنع **الأجهزة البديلة** prosthetic الناجعة. وفي الوقت نفسه سوف يساعد هذا الفهم الباحثين على تعلم المزيد عن الكيفية التي تشترك فيها العين والدماغ معًا في الرؤية بوضوح، وكيف يتم خداعهما بصرياً، وكيف يتتبعان الأجسام السريعة الحركة، وكيف يعبّئان الأجزاء الناقصة التي تتضمنها أي صورة معروضة على شاشات التلفاز أو الحاسوب أو سينما السيارات. ونحن نأمل أن يكون وصفنا لقدرة الشبكية على المعالجة التمهيدية هذهِ خطوة نحو الهدف.

تشريح نشيط(**)

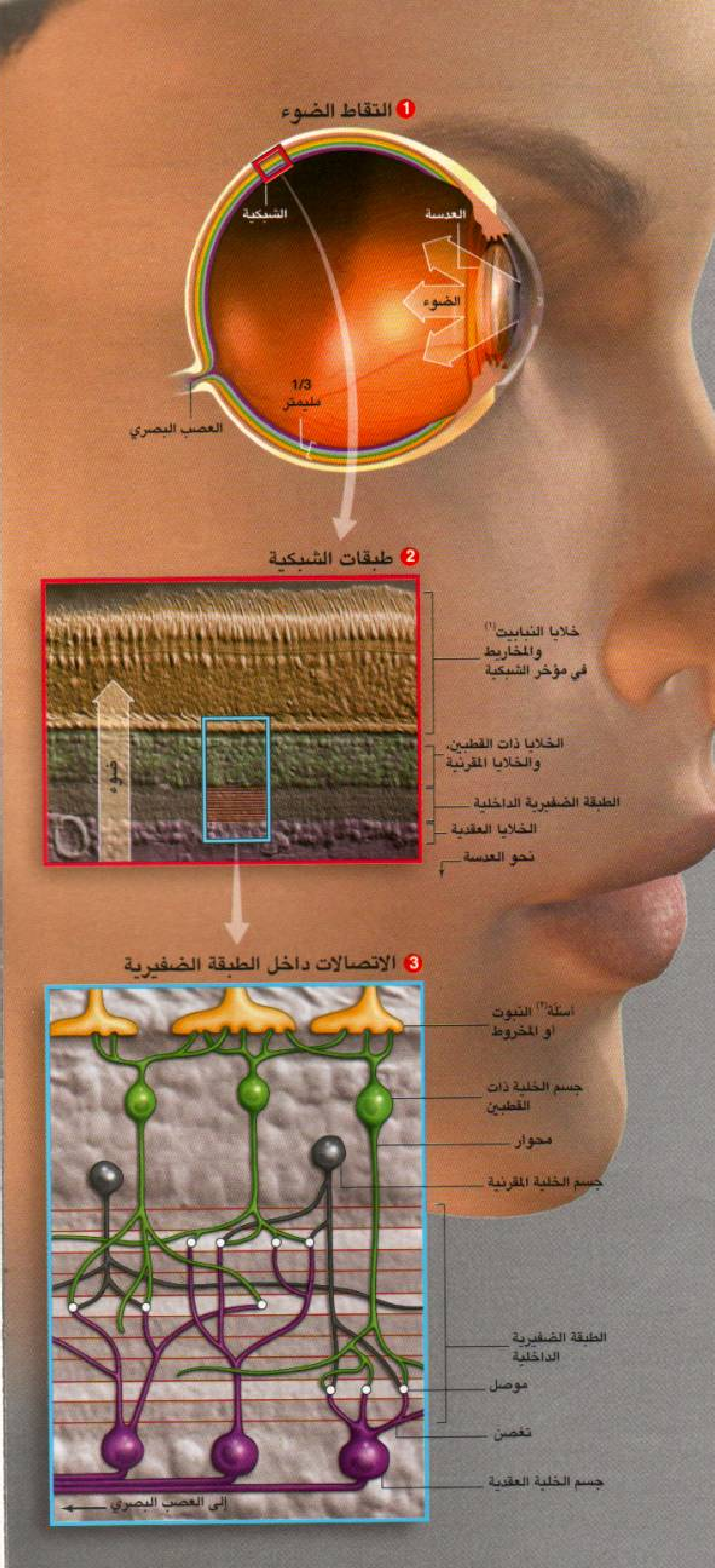
ينشأ سلوك الشبكية المذهل من بنيتها المعقدة. لقد أضافت التجارب المضنية التي أجراها الكثير من المتخصصين تفاصيل فيزيولوجية إلى الأنموذج الكلاسيكي الخاص **بالداريّة** circuitry الشبكوية الذي فصلّه أول مرة عالم التشريح الإسباني العظيم <R .S. كاجال> قبل قرن من الزمن، والذي ظل يعاد في مراجع التشريح منذ ذلك الحين إلى اليوم ❶. فالشبكية الشفافة تتألف من طبقات من العصبونات مرتبّة بشكل بديع ❷. وتضمّ الطبقة الخارجية الأكثر بعدًا عن العدسة كلاً من خلايا **النبابيت (الأعمدة)** rods **والمخاريط** cones التي تمتص الضوء الوارد إلى كليهما وتحوله إلى فعالية عصبونية. وتتصل هذه المستقبلات الضوئية بعشرة أنواع مختلفة من العصبونات تعرف بالخلايا ذات **القطبين (ثنائية القطب)** bipolar التي ترسل أذرعًا طويلة ناقلة للإشارات (تسمى محاوير) إلى طبقة مركزية «**ضفيرية داخلية**» inner plexiform. وتبدو هذه العصابة كسلسلة من عشر **نضائد (طبقات)** strata متميزة متوازية. ويُوصل محوار كل خلية من أنماط الخلايا ذات القطبين إشاراته إلى قلّة من هذهِ النضائد فقط.

وعلى الجانب الداخلي الأقصى من الطبقة الضفيرية ❸ يوجد اثنا عشر نمطا مختلفا من **الخلايا العقدية** ganglion cells (*باللون الأرجواني*). ويرسل معظم هذه الأنواع امتدادات تشبه الأصابع تسمى **تغصنات** dendrites إلى داخل نضيدة واحدة منفردة، حيث تستقبل **دَخل استثاريًا** excitatory input من عدد محدود من العصبونات ذات القطبين (*باللون الأخضر*). وتولِّد الخلايا العقدية **خَرج** output من كينونات سينمائية ينقلها العصب البصري إلى مناطق الدماغ المختلفة لتفسيرها وتأويلها. هذا وتتفرع بعض التغصنات العقدية تفرعا واسع النطاق، بحيث تنقل معلومات متناثرة؛ في حين تتفرع تغصنات أخرى على نطاق أكثر ضيقا، بحيث تنقل معلومات عالية الميز. هذا ويستجيب البعض للتغير المتزايد في معدل ما تطلقه الخلايا ذات القطبين من **نواقل عصبية** neurotransmitter (الجزيئات المرسالية)، في حين يستجيب البعض الآخر للتغير المتناقص في هذا المعدل.

نظرة إجمالية/رؤية سريالية(*)

- **إن وظيفة الشبكية أكثر بكثير من مجرد تمرير إشارات بسيطة إلى الدماغ. فمن المثير للدهشة أنها تستخرج دستة عروض متميّزة لأي مشهد مرئي، وذلك على هيئة أفلام سينمائية معقدة ذات ظلال باهتة كالأشباح تولدها أنواع قليلة نسبيا من العصبونات.**
- **يستخدم الدماغ هذه العروض التجريدية لبناء عالم مرئي دقيق في التفاصيل وغني بالمعاني.**
- **إن فهم "اللغة البصرية" التي تحملها هذه الأفلام السينمائية سوف يساعد الباحثين الذين يبتدعون أجهزة إحساس بصرية صنعية قد تساعد المكفوفين على الرؤية. وينبغي أيضاً أن تدعم تلك التبصرات الجهود المبذولة لتحديد الكيفية التي ترى فيها العين والدماغ الأشياء بوضوح.**

(*) Overview /Surreal Vision
(**) Active Anatomy



إن **دخـول** inputs التي ترسلهـا الخـلايا ذات القطبين إلى خلايا **خروج** outputs العقدية ضمن كل نضيدة من النضائد لا تكفي لتوليد دستة العروض السينمائية في جميع الأحوال، ويشار هنا إلى أن الإشارات التي تبثها الخلايا ذات القطبين تحوِّرها تشكيلة منوّعة من العصبونات الصغيرة تسمى الخلايا **المقرنية (العديمة الاستطالات)** amacrine (*باللون الرمادي*). ويزاول بعض هذه الخلايا عمله بشكل عرضاني ضمن إحدى النضائد على نحو يمنع التواصل بين الخلايا العقدية البعيدة في هذه النضيدة. كما تثبط عصبونات مقرنية أخرى انتقال الإشارات عموديًا بين النضائد، ومن ثم بين الأفلام السينمائية المختلفة -كما لو كانت تبلّغ إحدى النضائد ألاّ تسجل ما تسجله نضيدة أخرى. وبهذه الطريقة تلتقط الخلايا المقرنية الإشارات وتبثها من أجل تنسيق المسارات السينمائية. وقد تمكن باحثون أمثال <H. واسل> [من معهد ماكس پلانك لأبحاث الدماغ بفرانكفورت]، و<Th. يولر> [من معهد ماكس پلانك للأبحاث الطبية في هايدلبرج]، و<R. ماسلاند> [من مستشفى ماساشوستس العام] من تحديد 27 نمطا مختلفا من الخلايا المقرنية (إلى جانب 10 أنماط من الخلايا ذات القطبين و12 نمطا من الخلايا العقدية).

إن كل ما نراه في حيِّز ما نشاهده والزمن يمضي قدمًا، وحتى تسجيل نقطة سوداء ساكنة ثابتة في حيِّز ثلاثي الأبعاد لا لون له إنما يؤلف فيلما سينمائيا مادامت الشبكية تراه بشكل متواصل والزمن يتقدم. صحيح إن خلايا كثيرة من كل نمط من الخلايا العقدية تشغل الشبكية ويقوم طقم من هذه الأنماط بنقل فيلم سينمائي منفرد، ولكن أفلام الخلايا العقدية السينمائية هذهِ تمثل سيولاً مستمرة من الإشارات على عكس أفلام شباك التذاكر التي يُجرى إعدادها صورة فصورة.

إن **التـأثرات** interactions بين الخلايا ذات القطبين والخلايا المقرنية التي تقوم بقراءتها في آن معًا كل مجموعة من الخلايا العقدية تؤلّف البيانات التي نستقبلها لتأويل العالم الإبصاري. فحينما نقرأ ونمسك بالأشياء ونتعرف الوجوه ونسير هنا وهناك، تمثّل التآلفات المختلفة لهذه الأفلام السينمائية الدالات الإبصارية الوحيدة التي يتلقاها الدماغ. إنها تشكل "لغة إبصارية" أصيلة ذات صياغة وقواعد نحوية خاصة بها تشمل مجموع المفردات العصبية لحاسة الإبصار.

---

(1) rods أو الأعمدة
(2) tip أو طرف

أفلام سينمائية في ومضة(*)

تستند توصيفاتنا للنشاط المعقد في الشبكية إلى تجاربنا الخاصة، فنحن نقوم بتسجيل ما يحدث في خلايا عقدية فرادى بواسطة إبرة زجاجية مجوفة بالغة الصغر. ويتم بواسطة هذا الممص الميكروي (المجهري) حقن صبغ أصفر اللون ينتشر بسرعة عبر جميع تغصنات أي خلية عقدية منفردة مبينا لنا النضائد التي يصلها ذلك الصباغ. ويعمل هذا الممص أيضا كإلكترود يقيس النشاط الكهربائي للخلية، وهذا يعكس توليفة الإشارات الاستثارية الواردة من الخلايا ذات القطبين والإشارات التثبيطية الواردة من الخلايا المقرنية.

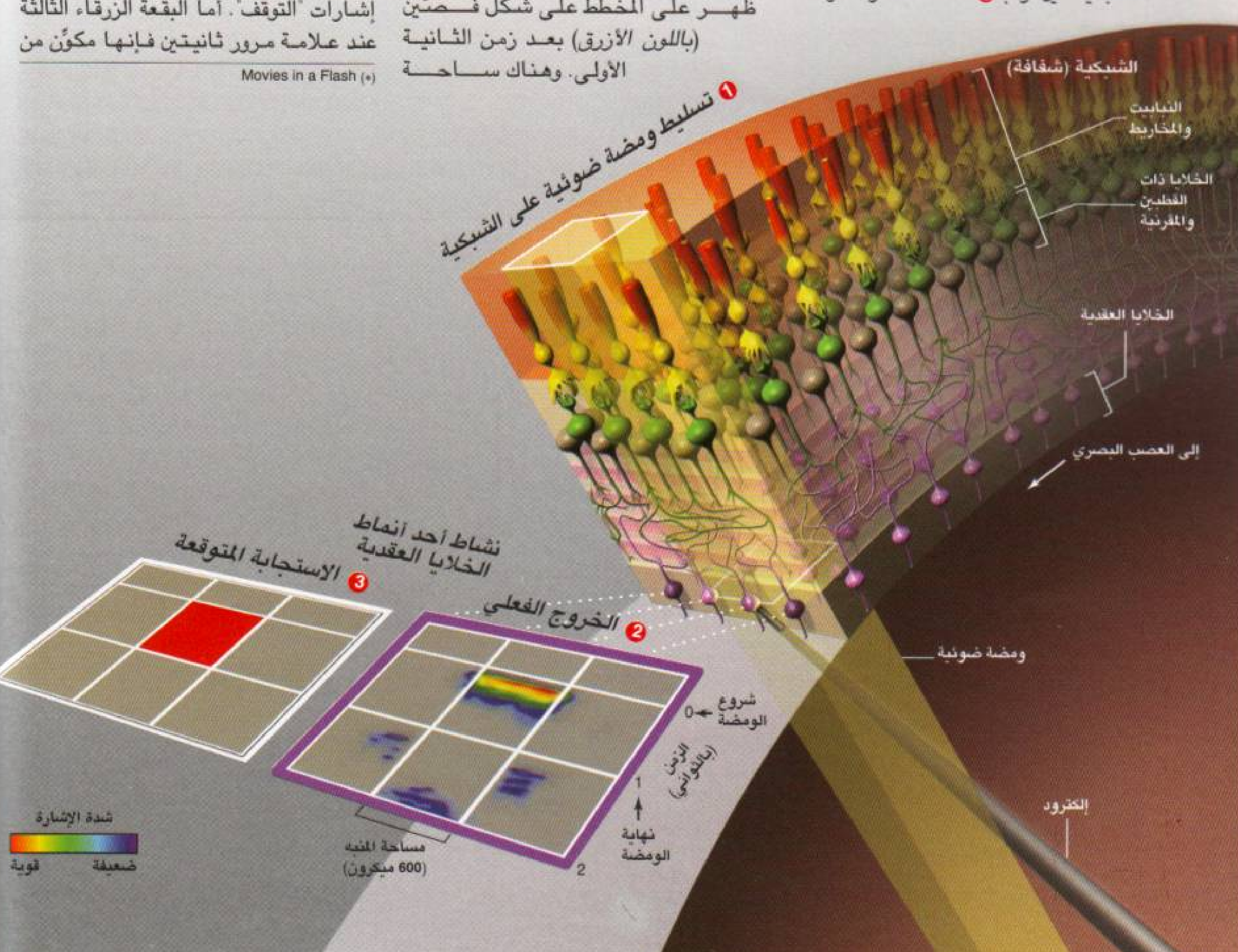
ولنكتسب شعورًا بالأفلام السينمائية التي تسيِّرها الخلايا العقدية إلى العصب البصري، شرعنا أولاً، بمنتهى البساطة في تسجيل كيف صورت مصفوفة خطية من الخلايا العقدية ومضة مربعة من ضوء جرى تسليطه على شبكية عين أرنب ❶. لقد استمرت الومضة ثانية واحدة واقتصرت على مربع قياسُ كل جانب من جوانبه 600 ميكرون. وهكذا وقع الوميض على منطقة صغيرة محددة من الشبكية لفترة زمنية معينة.

قمنا بتسجيل إشارات الاستثارة والتثبيط التي استقبلها نمط واحد من الخلايا العقدية خلال هذه الفترة وكرّرنا هذا الإجراء على كل نمط من أنماط دستة الخلايا العقدية. فكان لكل نمط استجابة مميزة، كما تنوّع مدى الاستجابات بشكل لافت للنظر. وفي *الشكل أدناه* ❷ يمثِّل كل مربع ثانية واحدة، ويشير اللون إلى شدة تيار الإشارة في واحد من أنماط الخلايا.

وكان من المثير للاهتمام بالنسبة إلى نمط الخلايا العقدية الموضح هنا أن الخلايا على امتداد عرض الومضة قد استجابت، ولكنها لم تكن ناشطة طوال الفترة الزمنية التي كان الضوء يسطع فيها. وكان من الغريب أن بعض الخلايا خارج امتداد الـ 600 ميكرون قد تنشّطت بعد انتهاء الومضة، وهو السلوك الذي ظهر على المخطط على شكل فصَّين *(باللون الأزرق)* بعد زمن الثانية الأولى. وهناك ساحة ثالثة داخل منطقة الومضة تنشطت كذلك نشاطا طفيفا بالقرب من العلامة التي تحدد مرور ثانيتين.

كيف لنا أن نفسر هذا النمط من الاستجابة؟ لو ظلت جميع الخلايا ترسل **خروج** outputs طوال مدة الثانية لكان نموذج الاستجابة «نيِّرًا» عبر **الفسحة** span جميعها طوال الثانية بأكملها، بحيث يملأ المربع المقابل على **لوحتنا** grid ❸. ولكن في الحقيقة تحدث تصفية للخرج، فهو يبلغ في الاتساع عرض الومضة ولكنه يُقْتَضَبُ بانقضاء الوقت بحيث لا يستمر إلاّ جزءًا من عشرة أعشار الثانية، ولا يبدأ إلاّ بعد نحو عُشُر الثانية من بداية الومضة. لم يكن هناك فقط تأخير طفيف قبل استجابة الخلايا العقدية، بل إن هذه الخلايا استجابت لمدة تكفي فقط لملاحظة كيف تغير الضوء الداخل من مظلم إلى ساطع. وربما يمثِّل هذا النمط من الخلايا العقدية بدء الإضاءة وليس بقاءَها المتصل. وربما كان التنشيط الطفيف للخلايا الممثَّل في الفصين النائيين ينقل نوعا من إشارات "التوقف". أما البقعة الزرقاء الثالثة عند علامة مرور ثانيتين فإنها مكوَّن من

(*) Movies in a Flash





مكوِّنات الإشارة لم نفهمه بعد.

صحيح إن كل مجموعة من دستة الأطقم المختلفة للخلايا العقدية تبتدع قراءة مميَّزة تتركَّز على ناحية ما من العالَم الإبصاري، ولكن علينا أن نتذكر أن هذا الخرج ينجم عن الاستثارة التي تحدثها الخلايا ذات القطبين والتنشيط الذي تحدثه الخلايا المقرنية. وما النتيجة النهائية إلاَّ النموذج الصافي النهائي المشذَّب. هذا وتبيِّن المخططات *أدناه* 4 و 5 و 6 كلا الدخل والخرج النهائي لنمط من الخلايا العقدية يختلف عن النوع الموضح سابقا.

بهذه الطريقة يرسل كل نمط من الخلايا العقدية **تمثيلا زمكانيًا** spacetime نهائيًا على طول العصب البصري إلى الدماغ. ويكون كل تمثيل مُنْتَجا مميَّزا ينشأ عن زوج من نماذج الاستجابة الاستثارية والتثبيطية 7. وتُرسِل أنماط الخلايا العقدية الاثنا عشر مع مرور الزمن اثنيْ عشر من هذه السيول السينمائية إلى الدماغ. (ولم نسجل هنا إلاَّ سبعة من أجل جعل التجربة طيعة). هذا ويحدث تنوع لا يصدق من النشاط عند الاستجابة لمربع وامض بسيط ما.

وجهٌ مُصَفًّى(*)

هدفنا، بالطبع، هو معرفة كيف تستخرج كل مجموعة من الخلايا العقدية معنىً من معاني العالم المرئي. ولما كانت الشبكية مصممة لمعالجة معلومات تفوق في الأهمية مجرد ومضة الضوء، فإننا تساءلنا ماذا يمكن أن يحدث حينما تشاهد الشبكية مشهدا طبيعيا مثل شخص يتحدث. فما الذي ستظهره عروض كل من الأفلام الاثني عشر؟ وهل يستخرج الفيلم الواحد صفة تغفلها الأفلام الأخرى؟

وعلى الرغم من الشروح التي تبدو مباشرة ودقيقة عن الكيفية التي فهمنا بها معالجة مربع من الضوء، فإنه يصعب، إلى حد لا يُصدَّق، سَبْر شبكية عين أرنب حي فعليّاً باستخدام عدد كافٍ من **الإلكترودات**[1] أثناء ومضة بسيطة مدتها ثانية واحدة، باعتبار ذلك أقل بكثير من مشهد طبيعي يدوم دقيقة من الزمن. ومن أجل هذا التمرين الأخير قمنا ببرمجة المعلومات من تجربة الومضة داخل حاسوب يحاكي **شيپة** chip شبكيةٍ صنعية شهيرة (هي الشبكية العصبية الخلوية) كان قد طورها <L. شوا> [من جامعة كاليفورنيا ببيركلي] و<T. روسكا>[2] [من الأكاديمية المجرية للعلوم في بودابست]. فقد حولت هذه **المنظومة** system المربع الوامض إلى اثني عشر نموذجا زمكانيّا من الاستثارة والتثبيط تشبه إلى حد كبير النماذج التي تولِّدها الشبكية الحيّة.

وبشيء من الجرأة عرضنا شيپة الشبكية المبرمجة في مشهد طبيعي، إذ جلس أحدنا (<ويربلين>) أمام الكاميرا وتحدث لمدة

(*) Face Filtered

(1) إلكترود أو مسرى أو قطب كهربائي.

(2) هو والد <B. روسكا> المشارك في تأليف هذه المقالة.

❶ عروض خلوية عقدية لوجه يتحدّث

فيلم سينمائي من خلية من النمط 1

فيلم سينمائي من خلية من النمط 2

3

4

5

6

7

❷ عروض مؤتلفة مرسلة إلى الدماغ



الزمن

ثانية واحدة

لا تزيد كثيرا على دقيقة. وهنا ولّد جهاز المحاكاة الذي قام ببرمجته لهذا التمرين «D. باليا» [من جامعة بودابست للتقانة والاقتصاد] بياناتا سينمائية لسبعة من عروض الخلايا العقدية المختلفة ❶.

ولتأكيد أن محاكاة الشبيه كان دقيقا، قمنا بقياس استجابات بضعة عصبونات في شبكية الأرنب الحي إزاء وجه يتحدث. وهنا اتضح بسرعة أن كل مجموعة من الخلايا العقدية تعمل **كمصفاة** filter تستخلص بيانا زمكانيّا مميَّزا للعالم ويرسله في فيلم سينمائي مميّز إلى الدماغ. وقد قمنا بإضفاء لون على كلٍّ من العروض التي ولدها الحاسوب بغية تمييز أحدهما من الآخر.

فعلى سبيل المثال، يبدو أن إحدى **المصافي** filters لم تستخلص إلاّ **حافات** edges الملامح (*باللون البرتقالي في الصفحة المقابلة*) الموجودة على الوجه المتحدث بحيث يظهر العالم من الناحية الأساسية على شكل **رسم خطي** line-drawing، في حين قامت مصفاة أخرى (*باللون الأرجواني*) بإبراز الظلال أسفل العينين والأنف، وأنتجت مصفاة ثالثة (*باللون البيج*) أضواء ساطعة بدلاً من الظلال والحافات.

بالطبع يمكن أن تكون استنتاجاتنا فيما يخصُّ المعلومة التي التقطتها كل واحدة من المصافي الاثنتي عشرة غير صحيحة. ولسوء الحظ فإنه يستحيل تمثيل النماذج التي سجلناها على الصفحة المطبوعة بشكل دقيق، لأن تلك النماذج تتوالى متواصلة كأفلام سينمائية، ولكن يجب ملاحظة أنها تحتوي على عدة فرجات فارغة. ومع ذلك، فإن طريقتنا تبيِّن أن كل واحدة من المصافي تكون حساسة تجاه سمة معينة من سمات المظهر الجسدي للوجه وحركته، وأن كل نمط من أنماط الخلايا العقدية له طريقته المميّزة في رسم صورة العالم.

وكذلك أتاح لنا تلوين **العروض** representation اقتفاء إسهامات كل مجموعة من الخلايا العقدية في البيان المؤتلف النهائي المتولِّد بعد تراكب الأفلام السينمائية. لقد جمعنا الأفلام السينمائية السبعة المنسابة في فيلم سينمائي رئيسي، فأعطت أربع **أطر** frames مأخوذة من لحظات مختلفة لحديث «ويربلين» الذي دام دقيقة واحدة، ❷ إحساسا بكيفية تحرك وجهه في أثناء انفتاح شفتيه وانغلاقهما، وذلك بالاستناد إلى بروز بعض العروض وخفوتها على نحو تجعله يبدو كالشبح، وهذا هو ما يستقبله الدماغ.

إن أفلامنا السينمائية ما هي إلاّ تقريبيّة، ومع ذلك فهي توضح بشكل لافت أن هذا النسيج العصبي الرقيق (أي الشبكية) في مؤخر العين يقوم بفرز العالم المرئي إلى دستة مكوّنات متميّزة، وتسافر تلك المكونات سليمة ومنفصلة إلى مناطق إبصارية متميزة في الدماغ: بعضها واعٍ وبعضها الآخر غير واعٍ. إن التحدي الذي يواجهه علم الأعصاب حاليًا هو فهم كيف يفسر الدماغ ويؤوّل رزم المعلومات هذه ليولد منظرا متكاملا رائعا للواقع. ■

المؤلفان

Erank Werblin - Botond Roska

قاما بكشف النقاب عن كثير مما يخصُّ الدّارية circuitry الوظيفية للشبكية في أوائل التسعينات في جامعة كاليفورنيا ببيركلي. ويواصل «ويربلين» عمله هناك أستاذًا في علم الأعصاب، وكان قد نشر في عام 1973 مقالة في سيانتفيك أمريكان بعد اكتشافه هو وزميله «J. دولنج» [من جامعة جون هوبكنز] خصائص فيزيولوجية متميّزة تنفرد بها عصبونات الشبكية. أما «روسكا» فهو رئيس مجموعة في معهد فريدريش ميشر للأبحاث الطبية البيولوجية في بازل بسويسرا، حيث يعمل على تطوير تقنيات جينية لتحديد المسارات الإبصارية.

مراجع للاستزادة

Directional Selectivity is Formed at Multiple Levels by Laterally Offset Inhibition in the Rabbit Retina. Shelley. Fried, Thomas A. Münch and Frank S. Werblin in *Neuron*, Vol. 46, No.1, pages 117-127; 2005.

Parallel Processing in Retinal Ganglion cells: How Integration of Space-time Patterns of Excitation and Inhibition Form the Spiking Output. Botond Roska, Alyosha Molnar and Frank S. Werblin in *Journal of Neurophysiology*, Vol. 95, pages 3810-3822; 2006.

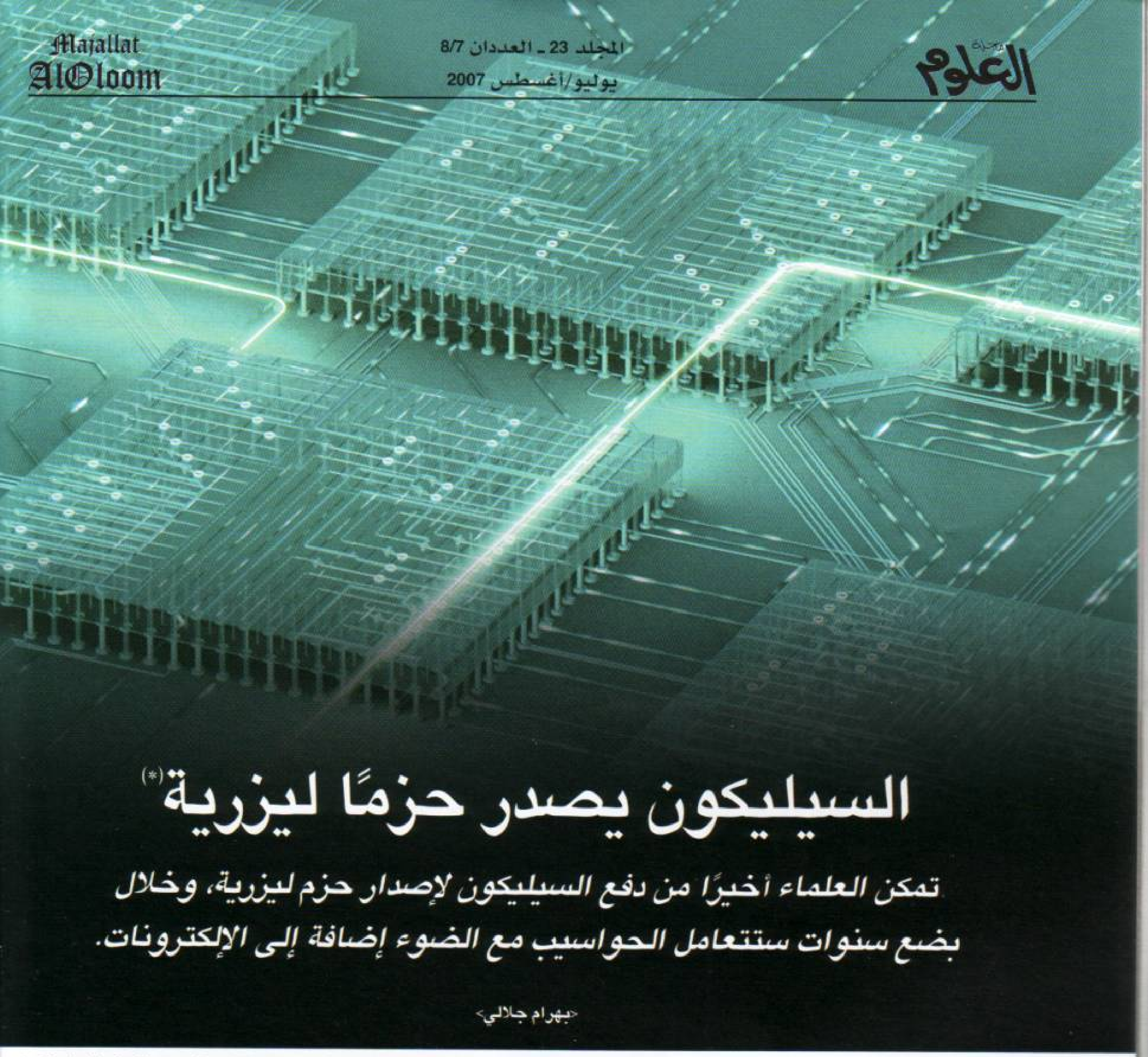
sa يمكن رؤية الشريط السينمائي الذي صنعته الشبكية لوجه المتحدّث على الموقع:
www.sciam.com/ontheweb

Scientific American, April 2007


اربع ثوان


ثلاث ثوان

Majallat AlOloom
المجلد 23 ـ العددان 8/7
يوليو/أغسطس 2007
مجلة العلوم



السيليكون يصدر حزمًا ليزرية(*)

تمكن العلماء أخيرًا من دفع السيليكون لإصدار حزم ليزرية، وخلال بضع سنوات ستتعامل الحواسيب مع الضوء إضافة إلى الإلكترونات.

<بهرام جلالي>

تُمكن شيپات السيليكون القليلة التكلفة المهندسين من استثمار سيالات الإلكترونات لإنجاز وظائف وسيرورات لا تحصى تجعل حواسيبنا وأجهزة الهاتف الخلوي والأجهزة الإلكترونية الأخرى مفيدة للغاية. فإذا تمكنت دارات السيليكون التكاملية بشكل مشابه من توليد حزم الضوء والتحكم فيها، فإنها ستخلق مجالاً من التقانات الجديدة الرخيصة والمناسبة للعديد من التطبيقات الأخرى. ولكن الطبيعة الخاصة للسيليكون أحبطت، لعدة عقود من الزمن، الجهود العنيدة للعلماء لتحويل هذه المادة إلى منبع للضوء المركّز الضروري.

وهناك حاليا مجموعات أبحاث عديدة، بما فيها مجموعتنا، تسعى إلى إنتاج ضوء الليزر من السيليكون. ويمكن أن يكون للتقدم في هذا المجال منعكسات هائلة على الأجهزة الإلكترونية التي

إن حزمة الليزر التي تظهر في الصورة (اللون الأحمر والأبيض في العنوان) كانت الأولى التي يصدرها جهاز من السيليكون، وضوؤها تحت الأحمر غير مرئي للعين و لكنه يظهر في الصورة بلون غير حقيقي. يمكن لليزرات السيليكون المتكاملة مع الشيبات الميكروية (الخلفية) أن تجعل الحوسبة بواسطة الضوء القليلة التكلفة أمراً عملياً. أمراً عملياً.

تتضمن ليزرات ومضخمات ضوئية تعتمد حاليا على مواد تصدر إشعاعا ليزريا أكثر تكلفة بكثير وأقل شيوعا من السيليكون.

إن استبدال أسلاك التوصيل النحاسية التقليدية بقنوات ضوئية يمكن أن يرفع حدود سرعة نقل البيانات عدة مراتب لا تستطيع التقانة الحالية الوصول إليها. فمثلاً إن سرعة " المودم " السلكي، وهو الجهاز العامل في اتصالات الإنترنت المنزلية، محدودة حاليا

(*) MAKING SILICON LASE

بمعدل نقل بيانات يصل إلى نحو ميگابايت واحد في الثانية، في حين أنه يمكن بسهولة للوسائط الضوئية التي تعتمد على شيپات السيليكون نقل الملفات الرقمية الضخمة مثل ملفات الڤيديو العالي الدقة بمعدلات تصل إلى 10 جيگابايت في الثانية، وهذا يمثل تحسنا بمقدار 10 000 مرة. ويمكن أيضاً **للمحسات** sensors المدمجة التي تحتوي على دارات تكاملية وليزرات سيليكونية أن تضم القدرات **التشخيصية «لمختبر على شيپة»** Lab-on-chip وبعض الاتصالات اللاسلكية للكشف عن الملوثات أو عوامل الحرب الكيميائية أو المتفجرات، وذلك كجزء من شبكة رصد بيئي وأمني واسعة. وفي تطبيقات عسكرية واعدة، فإن ليزرات السيليكون يمكن أن تكون قادرة على تضليل محسات الأشعة تحت الحمراء في الصواريخ المضادة للطائرات التي تعمل على متابعة الأثر الحراري، ومن ثم تقديم إجراء مضاد وغير مكلف لهذه الصواريخ.

لماذا لزم كل هذا الوقت الطويل لتعليم السيليكون هذه الحيلة الجديدة؟ فبخلاف المواد التي تستخدم عادة وسطا مضيفا لتوليد إشعاع الليزر (مثل زرنيخيد الگاليوم (GaAs) المستخدم في السواقات الليزرية DVD)، فإن السيليكون ليس مرتبا بصورة طبيعية ليدعم السيرورة الثنائية المرحلة اللازمة لإنتاج حزمة ضوء مترابط. ولا يمكن للسيليكون أن يصدر ضوءاً بكفاءة عندما يُنشّط (وهذا هو المتطلب الأول). ومهما كان الضوء الذي ينتجه السيليكون فهو غير قادر على تضخيم هذا الضوء إلى حزمة ليزر بواسطة "حثه" على توليد فوتونات أكثر. ("الليزر" هو مصطلح يصف تضخيم الضوء بواسطة الإصدار المحثوث للإشعاع).

في الليزر، يقوم منبع طاقة خارجي، يكون عادةً ضوءاً أو تياراً كهربائيا، «بضخ» إلكترونات ذرات الوسط المضيف إلى مستوى طاقة أعلى، وهو الذي يدعوه الفيزيائيون مستوى أعلى (أو مثارًا). وعندما تعود هذه الذرات إلى مستوى طاقتها الطبيعي (الأدنى)، فإن الطاقة الزائدة تتحرر على شكل فوتونات ضوء (وهي الوحدات الكمومية الأساسية للإشعاع الكهرمغنطيسي الذي يوجد في الوقت نفسه بطبيعة مزدوجة: موجية وجسيمية). وقد دعا أينشتاين هذه السيرورة **«بالإصدار التلقائي»** spontaneous emission، وهي الظاهرة التي تولد فوتونات تنتشر بشكل عشوائي في جميع الاتجاهات، محدثةً ضوءاً منتشراً ذا شدة منخفضة. وهذا الضوء يشبه كثيراً الضوء الوارد من المصباح المتفلور. أما عندما يمر واحد من هذه الفوتونات الصادرة خلال مجموعة إلكترونات في المادة المضيفة تم ضخها سابقا، فإنه يقدح أو يحث جميع الإلكترونات في آن واحد لتفريغ طاقتها الإضافية. وهذا مفهوم اقترح أول مرة في بحث نشره أينشتاين عام 1917. تسير الفوتونات الناتجة معاً بالاتجاه نفسه بصورة متزامنة، مُشكلةً حزمة ضوء عالية التوجيه. وعندما تسير الحزمة خلال ذرات مثارة أخرى في الوسط، فإن فوتوناتها تحث بدورها إصدار فوتونات أكثر بشكل متسلسل. وهذا التأثير مشابه للطريقة التي تنمو فيها كتلة من الجليد عندما تنحدر على سفح جبل مغطى بالثلج.

لم يحظَ تنبؤ أينشتاين حول الإصدار المحثوث باهتمام كبير حتى الخمسينات، عندما بدأ الفيزيائيون يدركون تطبيقاته الممكنة في الأجهزة الضوئية. وفي عام 1958 اقترح <Ch. تاونز> و <A. شافلوف> إحاطة المادة المضخمة للضوء جزئياً بمرايا تعكس للداخل بعض الفوتونات التي ولدتها المادة. وبيّنا أن سيرورة الحثّ من ثم ستغذي نفسها (كما في تفاعل تسلسلي). وهذه الطريقة تصبح، بمجرد أن تكتمل، قادرة على توليد دفق ضوئي قوي ذي طول موجة محدد تماماً - أي حزمة ليزرية. وبعد سنتين فقط، بَيّن <T. ميمان> تجريبياً أول ليزر عملي مصنوع بضخ بلورة ياقوت ضوئياً بمصباح قوي.

لقد أثبت السيليكون أنه أقل طواعية بشكل كبير من بلورات الياقوت أو من الأوساط الليزرية التي طُورت فيما بعد. ففي أشباه الموصلات - وهي مواد يقع أداؤها الكهربائي في منتصف الطريق بين الموصلات الممتازة كالنحاس والعوازل كالمطاط أو بعض أنواع السيراميك - توجد الإلكترونات في **عصابات طاقة**(1)، وهي مجالات مستويات طاقة، أو حالات طاقة يمكن للإلكترونات أن تشغلها.

ووفقاً للنظرية الكمومية فإن عصابة الطاقة تصف مجال المستويات التي يكون "مسموحاً" للإلكترونات باحتلالها، أما المجال المحظور بين العصابات المسموحة فهو مجال من مستويات الطاقة لا يمكن للإلكترون أن يشغلها. يمكن للإلكترون في مدار الذرة الخارجي أن يربح طاقة بامتصاص فوتون (تجعله يقفز إلى عصابة أعلى) أو أن يحرر طاقة بإصدار فوتون (فيهبط من جديد للأسفل). ويصنف الفيزيائيون هذه التآثرات نوعاً من حوادث الانتثار.

لنتخيل عصابات الطاقة كسلسلة من الدلاء التي يقع ضمنها الإلكترون (*انظر المؤطر في الصفحة 69*). تبقى عادةً جميع الإلكترونات تقريباً في عصابة الطاقة، أو الدلو الأدنى، تاركةً العصابة الأعلى فارغةً تقريباً. ولكن إذا اصطدم فوتون ذو طاقة مساوية عرضَ المجال المحظور أو أكبر منه بإلكترون أمكنه أن يرفع الإلكترون إلى العصابة الأعلى، أي إن الإلكترون يقفز من الدلو الأدنى إلى الدلو الأعلى. ويسمى هذا المفعول امتصاص الضوء، وهو الأساس للطريقة

نظرة إجمالية/ ليزر السيليكون(*)

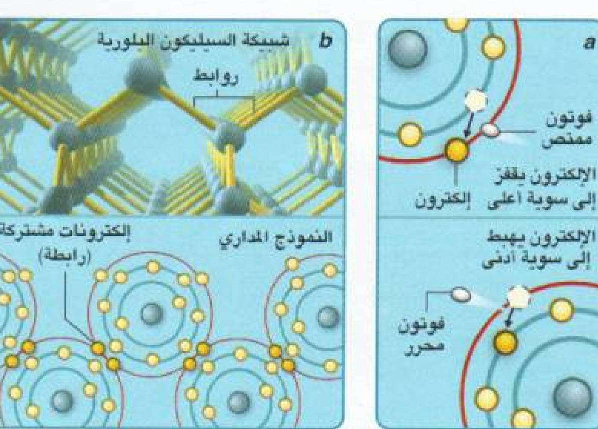
- **لفترة طويلة سعى العلماء إلى الحصول على شيپة سيليكون تستطيع التعامل مع الضوء بمهارة كتعاملها مع الإلكترونات، ولكن السيليكون لا يصدر الضوء بسهولة وبخاصة ضوء الليزر المكثف. إن تقدماً كهذا قد يؤدي إلى نقل البيانات الرقمية بسرعة فائقة كما سيؤدي إلى شبكات محسات جديدة وأيضاً إلى العديد من الابتكارات.**
- **بعد سنوات عديدة من العمل، تمكن الباحثون من جعل السيليكون يصدر إشعاعاً ليزرياً باستخدام عدة تقنيات مختلفة مستندة إلى المواد. وأصبحت ولادة تقانة هجينة جديدة - الإلكترونيات الضوئية السيليكونية - في متناول اليد.**

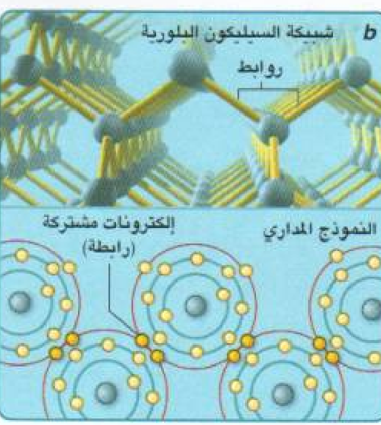
(*) Overview/Silicon Lasers

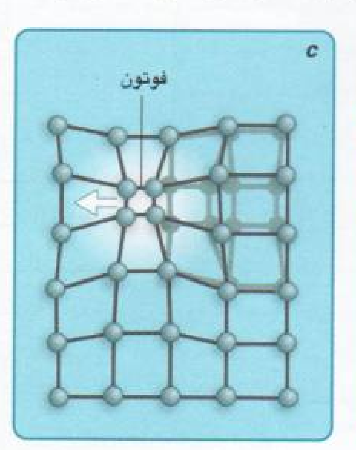
(1) energy bands

التحدي لجعل السيليكون يصدر إشعاعاً ليزرياً(*)

يوفر السيليكون أملاً كبيراً من أجل حوسبة بواسطة الضوء القليلة التكلفة، لكن طبيعته ذاتها تجعله وسطاً غير قابل للإصدار الليزري.









تعتمد عملية الليزرة (إصدار الإشعاع الليزري) على السلوك الكمومي للإلكترونات في المدارات الخارجية للذرات في مادة مناسبة. يحفَّز (أو يُضَخّ) إلكترون في الطبقة الخارجية لذرة منفردة حين يمتص فوتوناً. الوحدة الكمومية الأولية للضوء. يرفعه إلى مدار وسوية طاقة أعلى [a]. يحرر الإلكترون المحفَّز فوتوناً حين يهبط إلى سوية أدنى.

تشكل الذرات في جسم صلب روابط بواسطة التشارك في هذه الإلكترونات الخارجية [b]. وللوصول إلى تضخيم الضوء، وهو الشرط الأساسي لليزرة، تَضخ منابع طاقة خارجية الإلكترونات التشاركية إلى سويات طاقة أعلى. وحين تحرر الإلكترونات المحفَّزة فوتونات فإن هذه تحثّ بدورها إصدار فوتونات أخرى وهذا يضخم الضوء. ويمكن للفوتونات كذلك أن تضخَّم حين تصطدم بالفونونات المثارة والتي هي الاهتزازات الذرية المكماة للشبكة البلورية [c].

حين ترتبط الذرات المنفردة بعضها ببعض لتشكل بلورة تتغير سمة سويات طاقة الإلكترونات فتصبح عصابات أعرض [d] بسبب تأثير الذرات القريبة العديدة على الوسط الكهرمغنطيسي. وعلى هذا فإن إلكتروناً مضخوخاً يقفز من عصابة إلى أخرى.

وحين يُرسم الخط البياني لطاقات الإلكترونات في وسط ليزري شائع مثل زرنيخيد الكاليوم بدلالة الاندفاعات فإن عصابات الطاقة تصطف إحداها فوق الأخرى لأنها تشترك بالاندفاعات ذاتها [e] (تصف العصابة الحالات الكمومية الممكنة للإلكترونات، ولكل من هذه الحالات كمية يمكن مطابقتها مع الاندفاع الكلاسيكي الذي ينبغي أن يبقى محفوظاً أثناء التصادمات.) إن للعصابات في السليكون، على العكس من ذلك، اندفاعات مختلفة. وهذا يعني

التي تقوم فيها الخلايا الشمسية بتحويل الضوء إلى كهرباء.

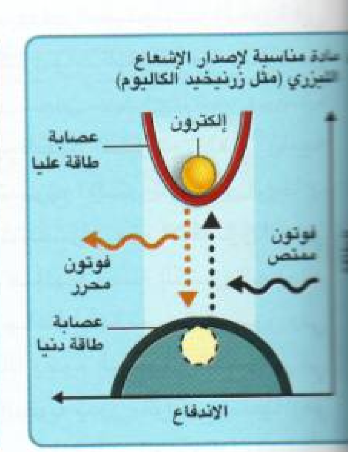
ولكي تنتج المادة فوتونات فإنها يجب أن تتلقى طاقة كافية لتضخ الكثير من الإلكترونات من العصابة الدنيا إلى العصابة العليا، مسببةً ما يسمى **انعكاس الإسكان** population inversion (مقارنة بالتوزيع المعتاد في العصابات). وليس من الضروري ضخ كامل الإلكترونات، ولكن يكفي فقط التأثير في الجزء القريب من قمة العصابة الدنيا. وغالباً ما يثير المهندسون الإلكترونات مباشرةً بإقحام تيار كهربائي عبر **ديود شبه موصل**(1)؛ وكذلك فإن إضاءة المادة بمنبع ضوء خارجي، كما فعل <ميمان>، يمكن أن تضخ الإلكترونات.

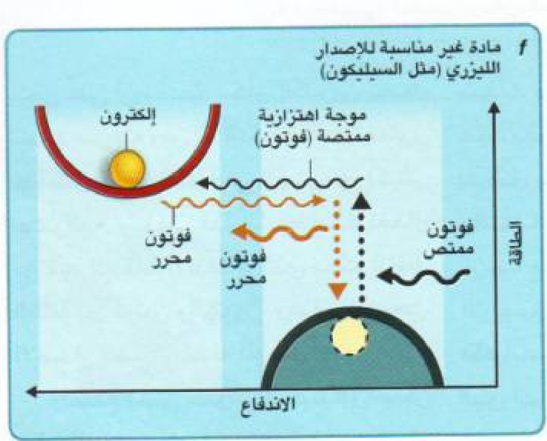
تُحرر الإلكترونات الموجودة في العصابة العليا في آخر الأمر طاقة، فتصدر فوتونات. عندما تنتشر الفوتونات الناتجة خلال شبه موصل يحتوي على العديد من الإلكترونات في المستوى الأعلى (**إسكان إلكتروني**(2) معكوس)، فإنها تحثّ إلكترونات أخرى على إصدار مزيد من الفوتونات. وتكون إصدارات شبه الموصل في أحسن الأحوال مساوية للطاقة الممتصة.

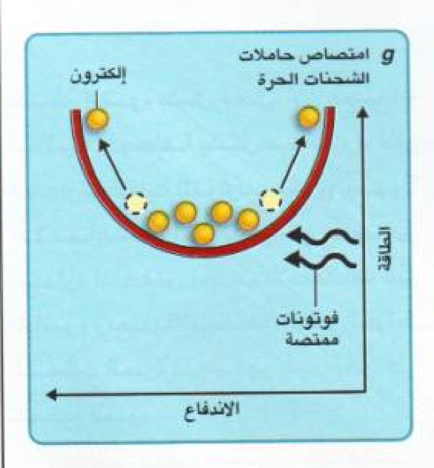
ومع أن الإلكترونات والفوتونات تتبادل الطاقة في سيرورات الامتصاص والإصدار هذه (سيرورات الانتثار)، فإن الطاقة الكلية للجملة تبقى محفوظة؛ أي إن الطاقة المكتسبة تساوي الطاقة المفقودة، كما هو مطلوب في قانون انحفاظ الطاقة. ولكن الامتصاص والإصدار يحصلان فقط إذا كان الاندفاع محفوظاً أيضاً وفقاً لقانون **انحفاظ الاندفاع**(3). يمكن النظر إلى الاندفاع، الذي يتحدد بالنسبة إلى فوتون يسير (مثل موجة) في بلورة من طول موجته مباشرة، على أنه ميل الفوتون ليتابع سيره في الاتجاه نفسه. ولكن الفوتونات لكونها رزماً صغيرة من الطاقة الصافية، لا تملك اندفاعاً كافياً لتسهم في تصادمات الانتثار. ولهذا تحدث الانتقالات بصورة أفضل عندما يكون للعصابتين الدنيا والعليا (نقاط البداية والنهاية للانتقالات بين العصابات) الاندفاع نفسه. ويتحقق هذا التساوي في الاندفاع في المواد ذات الاستخدام الشائع كمواد مصدرة للإشعاع الليزري، مثل: زرنيخيد الكاليوم وفسفيد الأنديوم، التي تقع عصاباتها الطاقية بعضها فوق بعض بشكل مباشر، عندما ترسم بيانياً على مخطط يربط الطاقة مع الاندفاع. ويسمح هذا الاصطفاف المباشر بتبادل مباشر للطاقة بين الإلكترون والفوتون (*انظر المؤطر في الصفحتين 68 و 69*). فإذا كانت لمادة ما هذه الخاصة المسماة **الاصطفاف المباشر** direct lineup كانت الخاصة عائدة لترتيب ذرات هذه المادة في **شبيكتها البلورية**(4).

على كل حال، إن للسيليكون اصطفافاً

(*) The Challenge of Getting Silicon to Lase
(1) semiconductor diode
(2) electron population
(3) dirct lineup
(4) crystal lattice







أن الطاقة من فوتون ممتص لا تكفي لوحدها لكي يقفز الإلكترون إلى عصابة أعلى [f]. وعوضاً عن ذلك ينبغي على الإلكترون أن ينتظر حتى يظهر فونون له الاندفاع الإضافي المناسب لكي تنتقل الطاقة. ولسوء الحظ فإن هذه الإلكترونات غالباً ما تفقد طاقتها الزائدة على شكل حرارة قبل أن يصل فونون مناسب، وهذا يؤدي إلى عدم إصدار السيليكون الضوء بكفاءة.

تتيح كفاءة الإصدار المنخفضة للسيليكون لظاهرة تدعى الامتصاص بواسطة حاملات الشحنة الحرة أن تعيق تضخيم الضوء والليزرة. فحين يتأثر فوتون مار مع إلكترون محفَّز (حامل شحنة حر) في عصابة عليا يمكن أن تحدث واحدة من عمليتين متنافستين: فإما أن يحث الفوتون إصدار فوتون آخر مسبباً هبوط الإلكترون إلى عصابة أدنى أو أن يمتص الإلكترون ببساطة الفوتون ما يؤدي إلى مجرد رفع الإلكترون إلى أعلى في العصابة ذاتها [g]، وهذا حدث لا ينتج فوتوناً آخر ولذلك فهو لا يساعد على تضخيم الضوء والليزرة.

تحتوي عصابات زرنيخيد الكاليوم العليا على القليل من الإلكترونات نسبياً. وحين يُرسم مخططها البياني تبدو العصابة العليا ضيقة ذات جوانب شديدة الانحدار. وبما أن لزرنيخيد الكاليوم معدل إصدار عال (يضخم الضوء بفعالية لأن عصاباته مصطفة إحداها فوق الأخرى) فإن إصداراته الفوتونية تفوق بسهولة امتصاصاته، ولذلك فإن هذه المادة تضخم الضوء. أما عصابات السيليكون العليا الأكثر عرضاً والتي جوانبها أقل انحداراً فتتطلب إلكترونات أكثر لتمتلئ. فالسيليكون، بمعدل إصداره المنخفض (الذي سببه الاصطفاف غير المباشر) وبمعدل امتصاص حاملات شحناته الحرة العالي لا يستطيع تضخيم الضوء.

غير مباشر بصورة طبيعية نتيجة بنية بلورية ذرية غير ملائمة إطلاقاً، وهذا يعني أن المادة تعاني اختلافاً كبيراً في الاندفاع بين عصابتيها العليا والدنيا. (تصف العصابة الحالات الكمومية المكنة التي يمكن أن يأخذها الإلكترون. ولكل حالة مقدار يمكن أن يقابل اندفاعاً **معهوداً**[1]، وهذا يجب أن يبقى محفوظاً أثناء التصادمات). لهذا لا تستطيع الإلكترونات أن تتبادل الطاقة بسهولة مع الفوتونات وتحافظ في الوقت نفسه على الاندفاع. وعوضاً عن هذا يجب على الإلكترونات أن تنتظر حتى تظهر موجة اهتزازية لشبكة السيليكون البلورية (والتي تسمى فونون) لها الاندفاع المناسب بالضبط، لتقدم الاندفاع الإضافي الضروري لتسهيل سيرورة نقل الطاقة. ولسوء الحظ فإن الإلكترونات في السيليكون غالباً ما تفقد طاقتها الإضافية على شكل حرارة فيما هي تنتظر وصول فونون مناسب. ونتيجة لذلك يبدي السيليكون كفاءة إصدار منخفضة، فمن بين مليون إلكترون مثار هناك إلكترون واحد سوف يحرر فوتوناً بنجاح. ومقارنة بالأوساط الليزرية الشائعة مثل (زرنيخيد الكاليوم) فإن كفاءة إصدار هذا الأخير أكبر بنحو 10 000 مرة.

تحد الفجوة الطاقية غير المباشرة من كفاءة ليزر السيليكون، ولكنها لا تمنع سيرورة الليزرة بحد ذاتها. هناك أيضاً عاملان آخران خاصان بالسيليكون لهما تأثير. فامتصاص حوامل الشحنات الحرة، وهي السيرورة التي تحصل ضمن عصابة طاقة معينة. لنتصور مجموعة من الإلكترونات (حوامل شحنات حرة) قد ضُخَّت إلى عصابة أعلى. فعندما يتأثر فوتون مار مع إلكترون مثار، يمكن أن تحصل واحدة من حادثتين: إحداهما ملائمة والأخرى غير ملائمة. يمكن للفوتون أن يسبب هبوط الإلكترون إلى عصابة أدنى ويحثه على إصدار فوتون آخر، وهذا بدوره يغذي سيرورة تضخيم الضوء. أو يمكن للإلكترون أن يمتص الفوتون، ثم يتحرك فقط إلى الأعلى في العصابة العليا. وهذه السيرورة لا تؤدي إلى توليد فوتون آخر، ولذلك لا ينتج منها تضخيم للضوء. ومعدلات حدوث هذين الأثرين المتنافسين تعتمد على عدد الإلكترونات الموجودة في عصابة الطاقة العليا.

تكون العصابات (أو الدلاء)[2] العليا في المواد الليزرية الجيدة (مثل زرنيخيد الكاليوم) ضيقة وذات جوانب شديدة الانحدار، ولذلك فهي تميل إلى إمساك إلكترونات قليلة نسبياً. وعلى العكس من ذلك فإن السيليكون يتميز بعصابات طاقة عليا أعرض وأقل انحدارًا، وهي لذلك تتطلب عدداً أكبر من الإلكترونات لتمتلئ. وعندما يُضخ السيليكون، يكون لديه ميل كبير إلى دعم امتصاص حوامل الشحنة الحرة. ولما كان لزرنيخيد الكاليوم معدل إصدار عال (فهو

(1) classical momentum
(2) buckets

تحث الذرات المثارة أثناء سيرها إصدار فوتونات أكثر بشكل متسلسل

يضخم الضوء بشكل فعال، لأن عصاباته الطاقية مصطفة بشكل مباشر)، فإن إصداراته الكلية للفوتونات تفوق بسهولة امتصاصاته. أما السيليكون - بمعدل إصداره المنخفض (بسبب الاصطفاف غير المباشر) ومعدل الامتصاص العالي لحوامل الشحنات الحرة فيه - فهو غير قادر على تضخيم الضوء.

وهناك سيرورة خفية تعرف **باتحاد أوجيه** Auger recombination تعيق أيضاً ليزرة السيليكون. في هذه الظاهرة، فإن الإلكترون في عصابة الطاقة العليا بدلاً من إصدار الضوء يتخلى عن طاقته للإلكترونات الأخرى، وهذه بدورها تتخلى عن طاقتها الزائدة على شكل حرارة. وتعتمد كمية الطاقة الضوئية الضائعة على عدد الإلكترونات الموجودة في العصابة العليا. ويخضع السيليكون لاتحاد أوجيه أكثر مما هي عليه الحال في زرنيخيد الگاليوم، لأنه يحتاج إلى ضخ إلكترونات أكثر إلى العصابة العليا للتغلب على كفاءة إصداره الضوئي الضعيفة.

تعليم السيليكون إصدار إشعاع ليزري(*)

في السنوات الخمس الأخيرة بدأ الباحثون بإيجاد طرق للتغلب على تلك الصعوبات المتأصلة في السيليكون. وإحدى هذه الطرق تستفيد لتحسين إصدار الضوء من ظاهرة رائعة تسمى **الحصر الكمومي** quantum confinement، تحدث عندما تقيد حركة الإلكترون باتجاه واحد أو أكثر. فبتقييد الحركة في حيز ثلاثي الأبعاد، يدعى القفص الكمومي، يتهيج الإلكترون عندما يتقلص حجم القفص. وتحدث هذه الظاهرة نتيجة لمبدأ عدم التعيين لهايزنبرگ، الذي ينص على أن تحديد مكان إلكترون يجعل تحديد سرعته ومن ثم اندفاعه (الذي يساوي حاصل جداء الكتلة في السرعة) أكثر عشوائية. ويخفف هذا الشرط بشكل فعال من قيد انحفاظ الاندفاع، الذي يحكم انتقال الطاقة بين فوتون وإلكترون، وهذا يرفع معدل الإصدار الضوئي لشبه الموصل.

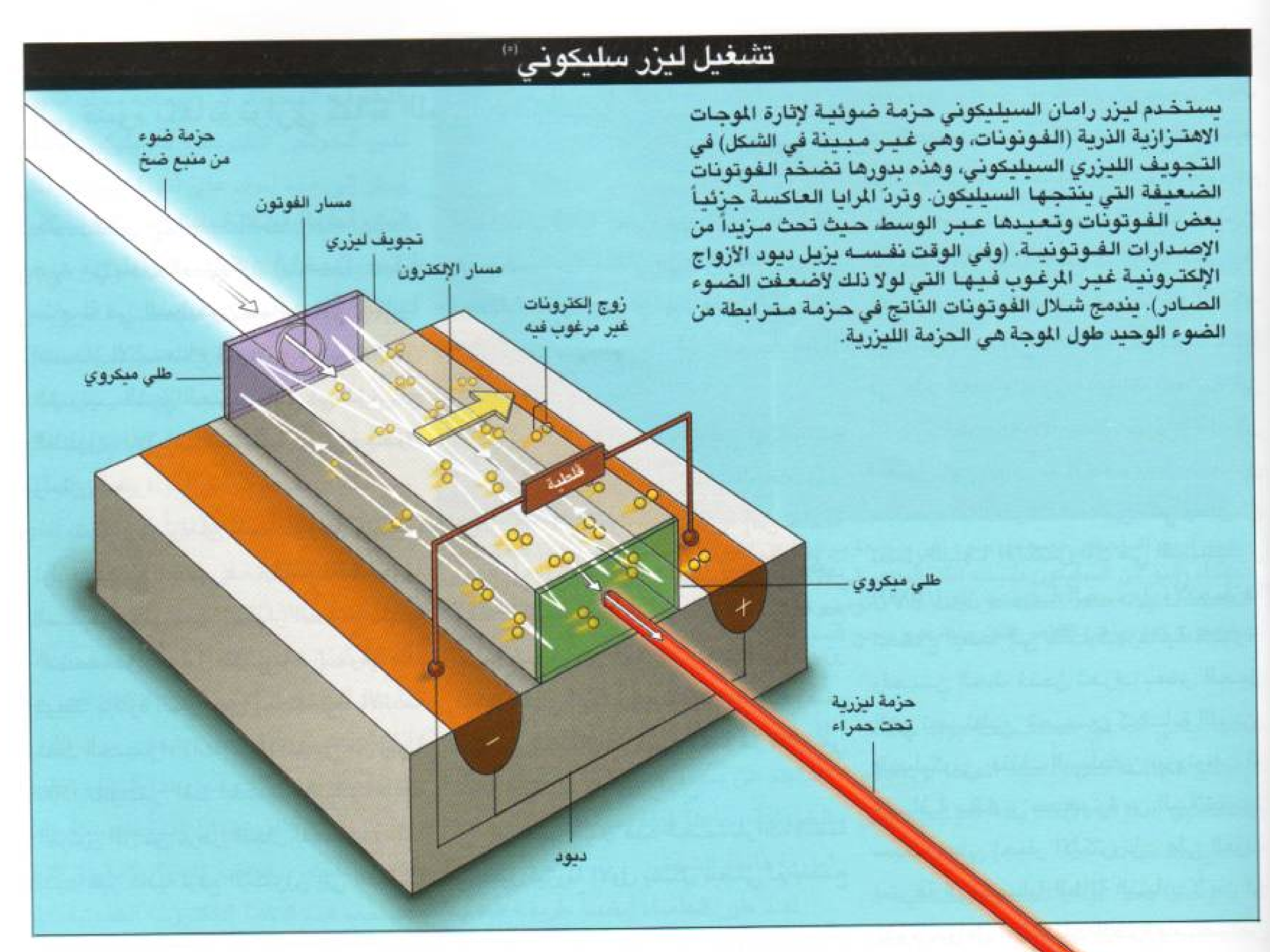
ولصنع قفص كمومي للسيليكون، يمكن للباحثين أن يصنعوا فيلماً رقيقاً من زجاج السيليكا (ثنائي أكسيد السيليكون) وأن يزرعوا فيه قطعاً صغيرة جداً من السيليكون البلوري. وهذه البلورات النانوية، التي يمكن أن تُضخ بواسطة إضاءتها بمنبع ضوء خارجي، لا يتجاوز عرضها بضع ذرات، ولذلك يمكنها تحقيق الحصر الكمومي. وفي عام 2000 كانت مجموعة <L. بافيسي> [في جامعة ترينتو بإيطاليا] أول من سجل دليلاً تجريبياً على بلورات سيليكون أبعادها من مرتبة النانو مضخمة ضوئياً. في البداية استقبل الفيزيائيون هذه النتيجة بالشك، ولكن <Ph. فوشيت> [من جامعة روتشيستر] وآخرين أكدوا فيما بعد هذه النتيجة. ومع أن هذه الطريقة لم تُنتج الليزر بعد، فإنها أوحت باختراعات أخرى حققت نتائج مشجعة.

ويستفيد أحد الإنجازات التي تستثمر الحصر الكمومي من العناصر النادرة (مثل الإربيوم erbium)، التي يعرف العلماء أنها مُصدرات جيدة للضوء. فمصنِّعو الأجهزة يضيفون بشكل روتيني عنصر الإربيوم إلى الزجاج في الليف الضوئي لإنتاج مضخمات تعمل بالضخ الضوئي وليزرات لشبكات الاتصالات. قاد <F. بريولو> [من جامعة كاتانيا في إيطاليا] و <S. كوفا> [من مركز STM للإلكترونيات الميكروية في جنيف] البحث بهذه الطريقة بهدف تحسين الأداء الضوئي للسيليكون. وقد برهنت مجموعة <كوفا> عملياً على إمكانية تصنيع ديودات مصدرة للضوء (LED) تعمل عند درجة حرارة الغرفة بكفاءات عالية كتلك التي تحققها الأجهزة المصنوعة من زرنيخيد الگاليوم.

إن الديودات الضوئية المطورة في مركز الإلكترونيات الدقيقة هي عبارة عن طبقات من معدن - زجاج - شبه موصل، حيث يقوم الجهد المطبق بين المعدن وشبه الموصل بتسريع الإلكترونات عبر الزجاج. وعندما تتحرك هذه الإلكترونات في الزجاج، فإنها تضخ إلكترونات ذرات الإربيوم جاعلة إياها تصدر الضوء. وفي هذه الحالة يقوم الحصر الكمومي في البلورات النانوية بدور متواضع نسبيًا وهو تحسين موصلية الزجاج. وهكذا ينخفض الجهد اللازم لتحقيق جريان الإلكترونات. ومع أن تقنية الديودات الضوئية هذه مفيدة جداً، فإنها تنتج ضوءاً منتشراً (عبر الإصدار التلقائي)، بدلاً من ضوء الليزر الذي يتولد بالإصدار المحثوث. وعلى كل حال فإن الباحثين في مركز الإلكترونيات الميكروية يتوقعون تقديم عرض نموذج تجريبي لتوليد الإشعاع الليزري الحقيقي في سيليكون مطعّم بالإربيوم في وقت قريب.

مؤخرا، رصدت مجموعة <J. سو> [في جامعة براون] إصدار إشعاع ليزري عند درجات حرارة منخفضة (-230°C، وهذه درجة حرارة منخفضة جداً بالنسبة إلى الاستخدام العادي) في قطعة سيليكون ذات بنية نانوية (*انظر الشكل في الصفحة 73*). لقد حصلوا على هذا الأثر أولاً بتشكيل مصفوفة من عدد كبير من الثقوب في المادة متوضعة بشكل قريب بعضها من بعض (يبعد أحدها عن الآخر بمقدار 110 نانومتر) على سطح فيلم رقيق من السيليكون، ثم بضخ هذه الثقوب ضوئياً. لقد عزا <سو> وفريقه إصدارات الليزر التي رصدوها إلى إلكترونات متوضعة على عيوب بلورية تحدث بشكل طبيعي على السطوح البلورية لبنى السيليكون النانوية. ثم عزوا الإصدارات العالية إلى عدم التعيين الكمومي في الاندفاع والناتج من التقييد الموضعي الشديد جدا للإلكترونات. توفر هذه البنى إمكانيات مثيرة

(*) Teaching Silicon to Lase



لليزرات نانوية من السيليكون لا تستثمر الليزرة الضوئية في السيليكون فحسب، بل قابلية العنصر ليعمل كمرايا ومرشحات معقدة تستطيع أن تتعامل مع الضوء المتولد. مثل هذه الأجهزة يمكن أن تكون مفيدة في شبكات الاتصالات في المستقبل [انظر: «*البلورات الفوتونية: أشباه موصلات الضوء*»، **العلوم**، العدد 4 (2002)، ص 58].

السيليكون يتعلم إصدار الإشعاع الليزري(**)

إن ضخ إلكترونات إلى عصابة الطاقة العليا في بلورة شبه موصلة، ليس هو الطريقة الوحيدة لتضخيم الضوء؛ إذ يتبع الباحثون طرقاً أخرى في سبيل صنع ليزر سيليكوني. فمثلاً إذا أضيفت طاقة إلى الفونونات في شبه موصل بلوري، فإن حزمة ضعيفة من الضوء تعبر هذه الشبكة البلورية يمكنها أن تلتقط طاقة الفونونات هذه وتصبح مضخمة، وإعادة بعض الضوء المضخم ثانية إلى البلورة تجعلها تصدر إشعاعا ليزريا.

في عامي 2002 و 2003، وبدعم من **وكالة مشاريع الأبحاث الدفاعية المتقدمة** Defense Advanced Research Projects Agency، بينت مجموعتنا [في جامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس] أن شيپة من السيليكون يمكن أن تولد الضوء وتضخمه باستخدام هذه التقنية. وفي عام 2004 قدم فريقنا أول ليزر سيليكوني. فكما في ليزر ميامان، ضخخنا جهازنا ضوئياً، وهذه سيرورة غير فعّالة عادةً. ولكن ما يثير الدهشة أن جهازنا السيليكوني حوَّل طاقة الضخ إلى ضوء بكفاءة قريبة من كفاءة الليزرات التقليدية الحالية. وبعد هذا بقليل قمنا بغرس جهاز الليزر في ديود، ونجحنا في تشغيله وفصله كهربائياً.

يسمي العلماء التأثير المتبادل للضوء مع الفونونات **مفعول رامان** Raman effect، وقد استخدموه بشكل واسع في أواخر الستينات وفي السبعينات للتحري عن الخواص الفيزيائية للعديد من المواد ومن بينها السيليكون. وأخيرًا سخَّر العلماء هذا المفعول لجعل الألياف الضوئية تعمل مضخمات وليزرات. ولكن نظراً لأننا بحاجة إلى عدة كيلومترات من هذه الألياف لهذا الغرض، فقد فشل الباحثون السابقون في رؤيته وتحقيق طريقة عملية للحصول على شيپة سيليكونية ليزرية. لكن فريقنا أدرك أن الجميع غفلوا عن حقيقة أن مفعول رامان في السيليكون يمكن أن يكون أكبر بنحو 10000 مرة مما هو عليه في الألياف الضوئية التي تصنع من الزجاج. وهذه الاستجابة الأكبر

(*) Running Silicon Laser
(**) Silicon Learns to Lase

من المفاجىء أن جهازنا السيليكوني حول الطاقة المضخوخة إلى ضوء بكفاءة توازي كفاءة الليزرات التقليدية.

بكثير تأتي من البنية الذرية المرتبة بشكل جيد في بلورة السيليكون (وأخيرًا، صفة متأصلة في السيليكون تساعد على إمكانية إصدار الإشعاع الليزري)، في حين أن الترتيب الذري العشوائي في الزجاج اللابلوري للألياف الضوئية يُبقي مفعول رامان صغيرا.

يتطلب ليزر رامان ضخاً ضوئياً. ولتجنب توليد إلكترونات في عصابة الطاقة العليا للسيليكون التي تعيق إصدار الضوء (مشكلة امتصاص حوامل الشحنات الحرة)، قام فريقنا بإثارة السيليكون مستخدماً الأشعة تحت الحمراء ذات الطول الموجي من رتبة 1500 نانومتر. لقد أبقت هذه التقنية طاقة الفوتون أقل من عرض المجال المحظور، وهكذا بقيت غير كافية لرفع الإلكترون إلى العصابة العليا. لكن قد يتشارك فوتونان أحياناً في طاقتهما ويتمكنان من رفع إلكترون إلى العصابة العليا. ومع أن عدد هذه الإلكترونات المضخوخة بهذه الطريقة قليل نسبياً، فإنها تضعف طاقة المنظومة.

ليست ليزرات رامان هي الوحيدة المعرضة لهذا النوع من فقدان الطاقة. فقد عرض <A. كايتا> و <M. ليسون> [من جامعة كورنل] في عام 2006 جهازاً يمكن أن يكون مفيداً لتضخيم الضوء، وذلك بمزجه مع حزمة ضوء أكثر قوة. هذا المضخم، والليزر المكمل الذي لم يتم الحصول عليه بعد، سيعاني الخسارات نفسها، كما هو الأمر في جملة أساسها مفعول رامان.

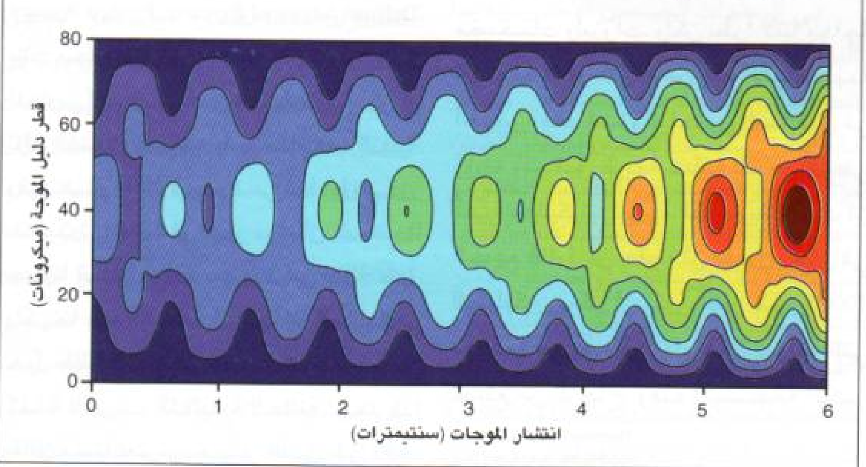
لتجنب مثل هذه الخسارات، قمنا بتشغيل ليزرنا الأول بشكل نبضي لم يسمح للإلكترونات بأن تتراكم وتستنزف طاقة المنظومة. ويمكن الوصول إلى ليزر يعمل بشكل مستمر بتطبيق حقل كهربائي (يولد بواسطة ديود مجاور) يقوم بجرف الإلكترونات المتبقية بعيداً. وقد اقترح الباحثون [في جامعة هونگ كونگ الصينية] تجريب هذه الطريقة، وبين <H. رونگ> والعاملون معه [في الشركة إنتل] ذلك عملياً في عام 2005. وتشير الأبحاث الحالية إلى أن هذه الطريقة فعالة بشكل جزئي فقط، لأن المعدل الذي تُزال به الإلكترونات سيكون محدوداً بالسرعة العظمى التي يمكن أن تصل إليها الإلكترونات في السيليكون (1/1000 من سرعة الضوء)، ولإنجازها تحتاج أيضا إلى طاقة كهربائية كبيرة. ولحسن الحظ، فنحن نعرف بعض الحيل التي تستطيع تحسين كفاءة الليزر السيليكوني. فقذف السيليكون ببروتونات أو إضافة مقادير صغيرة من البلاتينيوم سيعمل على إجبار الإلكترونات على العودة بسرعة إلى عصابة الطاقة الدنيا بدلاً من أن تقوم حوامل الشحنات الحرة بامتصاص الفوتونات القليلة.

وهذه الإجراءات تقلل من عدد الإلكترونات في العصابة العليا، وهذا بدوره يقلل من إعادة امتصاصها للضوء. وهكذا فإن سحب الإلكترونات يحل جزءاً من المشكلة فقط، ولكن الجهاز مازال يفقد طاقة الضخ عندما تتولد هذه الإلكترونات من دون قصد. وباستخدام الحيلة التي تتحكم في عمل الخلايا الشمسية، أوضح فريقنا في عام 2006 أن ليزرات رامان السيليكونية يمكن أن تولد قدرة كهربائية، وذلك بحصد الطاقة المضخوخة الضائعة. إن الإلكترونات الحرة، التي تولدت بامتصاص فوتونين من دون قصد، تجري عبر السيليكون لتولد الكهرباء. لقد تعلمنا أنه يمكننا ترتيب جريان الإلكترونات بالطريقة التي يكون فيها استهلاك الطاقة في الجهاز (وهو حاصل جداء التيار الكهربائي في الجهد) سالباً،

مضخم الأخيلة الليزري السيليكوني(*)

في ليف ضوئي (أو دليل موجة) مقطعه العرضي أكبر كثيراً من الطول الموجي لبعض الضوء الوارد، يبتعد أي شكل ضوئي ويقترب من الوضوح لدى سيره عبر الأنبوب الضوئي نتيجة للتداخل البنّاء والهدّام بين الموجات الضوئية التي تنعكس على جدران دليل الموجة. ويتضافر مفعول التبئير والتضخيم الضوئي لتبئير وتضخيم خيالٍ ما في الوقت نفسه، في حين يمر الضوء في دليل الموجة (الألوان الأكثر حرارة *باتجاه اليمين*).

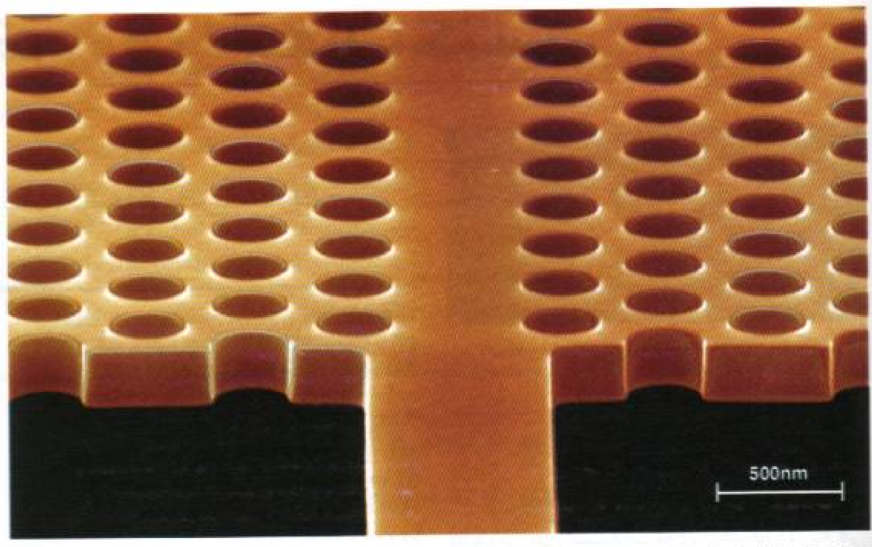
يطور الباحثون في جامعة كاليفورنيا بلوس أنجلس وفي نورثروب كرومان بصورة مشتركة جهازاً يضخم فيه مفعول رامان (تأثر الفوتونات والفونونات) خيالاً ضوئياً لدى تقدمه خلال دليل موجة سليكوني سميك. مضخم الأخيلة هذا ينبغي أن يحسن حساسية الاستشعار عن بُعْد remote sensing المبني على الليزر، وكذلك منظومات تشكيل الأخيلة التي يستخدمها العلماء لمراقبة البيئة.



(*) Silicon Laser Image Amplifier

الباحثون في السيليكون تقليدياً يقاومون التقنيات الهجينة، لأن إضافة مواد أخرى تغير الخواصَّ الكهربائية للسيليكون، ولذلك يُنظر إلى هذه المواد على أنها ملوثات. لكن النتائج المشجعة الحديثة التي حصلت عليها مجموعات عمل في جامعة متشيگان في آن آربور وأيضاً بشكل منفصل فريق من الباحثين في جامعة كاليفورنيا بسانتا باربرا، أدت إلى تجديد الاهتمام بهذه المقاربة. فإذا استطاع الباحثون التغلب على مشكلات عدم توافق المواد، أمكن لهذه الطريقة أن تقدم حلاً تجارياً آخر لليزر الذي أساسه السيليكون في الأمد القريب.

لقد بدأت المتابعة الدؤوبة لليزر السيليكوني تعطي أُكلها أخيراً. ويبدو أن هذا المجال قد وصل أخيراً إلى النقطة الحرجة التي ستسمح للسيليكون بتحدي مواد الليزر التقليدية. ويجب أن يجعل هذا التقدم تقارب الإلكترونيات والفوتونيات أمراً محتوماً. ومع أنه من المبكر معرفة المسار الدقيق الذي ستأخذه هذه التقانة الإلكترونية الضوئية، فإن التطبيقات الجديدة التي ستصبح ممكنة بواسطة ليزر السيليكون سيكون لها، غالبا، انعكاس كبير على حياتنا اليومية. ■



كشف فريق الباحثين <جيمس سو> [في جامعة براون] عن الليزرة عند درجة حرارة منخفضة في غشاء رقيق من السليكون مشابه لذلك الظاهر في الأعلى. يحتوي سطح جهاز الفريق على ثقوب أبعادها نانوية، يبعد أحدها عن الآخر 110 نانومتر فقط. تحدث الليزرة بسبب كون الإلكترونات محصورة كمومياً في أقفاص إلكترونية على سطح السيليكون.

وهذا يعني أنه في الحقيقة يولد طاقة. ويمكن للطاقة الكهربائية المولدة أن تقوم بتشغيل الدارات الإلكترونية الموجودة على الشيبة نفسها.

وفيما بعد، بينت مجموعة باحثينا أن هذه الصعوبة تتلاشى كلياً إذا بدأنا بضخ ضوء ذي طول موجة أطول من 2300 نانومتر تقريباً. إن طاقة الفوتون الناتج صغيرة جداً لدرجة أن زوجاً من الفوتونات لا يمتلك طاقة كافية لرفع إلكترون إلى العصابة العليا، وهذا أمر لن يكون مفيداً في ليزر رامان. لقد وجدنا أن السيليكون يصبح وسطاً رائعاً لإصدار الإشعاع الليزري، وربما واحداً من أفضلها، عندما يُضخ بواسطة الأشعة تحت الحمراء التي يراوح طولها الموجي بين 2300 و 7000 نانومتر (النقطة التي تبدأ عندها أشكال أخرى من تأثيرات مؤذية بالظهور). ويقع هذا الطيف في مدى أبعد من مدى الليزرات شبه الموصلة الموجودة، ولهذا فإن تقنية ليزر السيليكون تسمح بتطوير تطبيقات جديدة. ومن بين جميع المواد الليزرية، يقدم السيليكون واحداً من أفضل الأوساط التي تجمع بين الموصلية الحرارية (لتبديد الحرارة غير المرغوب فيها) والمقاومة ضد التخريب الناجم عن مستويات عالية من الطاقة الضوئية، جاعلةً إياه نموذجياً لتوليد حزم ليزرية فائقة الشدة.

لقد طور العلماء أيضاً طريقة هجينة واعدة لإنتاج ليزر من السيليكون تعتمد على إضافة قطعة من زرنيخيد الگاليوم أو فسفيد الأنديوم إلى سطح ركازة سيليكونية[1]. وكان

المؤلف

Bahram Jalali

أستاذ الهندسة الكهربائية في مدرسة هنري صامويل للهندسة والعلوم التطبيقية بجامعة كاليفورنيا، لوس أنجلس، وهو أيضاً وكيل مركز العلوم في كاليفورنيا. يمضي جلالي معظم وقته الترفيهي بالإبحار مع أولاده الثلاثة على الشاطئ الجنوبي لكاليفورنيا.

مراجع للاستزادة

Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein. Abraham Pais. Oxford University Press, 1982.

The Incredible Shrinking Transistor. Yuan Taur in *IEEE Spectrum,* Vol. 36, No. 7, pages 25–29; July 1999.

Demonstration of a Silicon Raman Laser. Ozdal Boyraz and Bahram Jalali in *Optics Express,* Vol. 12, No. 21, pages 5269–5273; October 2004.

Computing at the Speed of Light. W. Wayt Gibbs in *Scientific American,* Vol. 291, No. 5, pages 80–87; November 2004.

Optical Gain and Stimulated Emission in Periodic Nanopatterned Crystalline Silicon. S. G. Cloutier, P. A. Kossyrev and J. Xu in *Nature Materials,* Vol. 4, No. 12, pages 887–891; December 2005.

Optical Interconnects: The Silicon Approach. Edited by L. Pavesi and G. Guillot. Springer Series in Optical Sciences. Springer, 2006.

Silicon Photonics: The State of the Art. Graham Reed. John Wiley & Sons, 2007.

Scientific American, February 2007

عروض ومراجعات كتب

الكون الذكي[*]

كتابان جديدان يقولان إن الوقت قد حان لإسقاط نظرية الأوتار[1].

المشكلة في الفيزياء: ارتقاء نظرية الأوتار وسقوط علم وما يلي ذلك

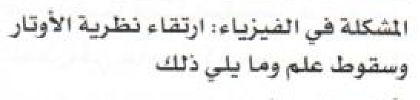
تأليف <ل. سمولين>

ليست حتى خاطئة: فشل نظرية الأوتار والبحث عن وحدة قوانين الفيزياء

تأليف <P. فويت>

THE TROUBLE WITH PHYSICS: HE RISE OF STRING THEORY, THE FALL OF A SCIENCE, AND WHAT COMES NEXT
by Lee Smolin
Houghton Mifflin, 2006

NOT EVEN WRONG: THE FAILURE OF STRING THEORY AND THE SEARCH FOR UNITY IN PHYSICAL LAW
by Peter Woit
Basic Books, 2006



لربما أخذ الصبر بالنفاد مع نظرية الأوتار.

يشير هذان الكتابان إلى عكس ما يطرحه حاليا معظم الباحثين في نظرية الأوتار، حيث يخلصان إلى أن سُعار البحث في الأوتار **والتغشيات**[2] وفي **الأبعاد المعقوصة**[3] هو مجرد بحث سطحي لا عمق فيه، إنه حشر للرموز لا يؤدي إلى فهم الكون أكثر مما يؤدي إليه النثر المؤلف عشوائيا.

لا يكتفي هذا التقييم القاسي لنظرية الأوتار - وهي النظرية التي تحاول الجمع بين النسبية العامة والميكانيك الكمومي - بالقول إنها لم تخضع للاختبار وإنما هي غير قابلة للاختبار إطلاقا، غير قادرة على التنبؤ بما يمكن التحقق منه تجريبيا. ولما كان من غير الممكن التحقق من صحة نظرية الأوتار الفائقة، فإنها ستؤول «بشكل ما إلى **بلد عجائب ميتافيزيائي**[4]،» حسب تعبير <B. ريتشتر> [الرئيس الفخري لمركز المسرع الخطي في استانفورد]، وهذا ما يدفع نقادها إلى التذمر قائلين: «إن العمل مازال يجري فيها على قدم وساق وكأنها اللعبة الوحيدة المتاحة.»

«إن سيطرة نظرية الأوتار على العمل الأكاديمي تلزم الفيزيائي النظري الشاب بالانضمام إلى هذا المجال في البحث، وإلا فإنه سيضحّي بمستقبله المهني،» هذا ما جاء في كتاب <L. سمولين> [الفيزيائي بمعهد بيريمتر للفيزياء النظرية] بعنوان: *«المشكلة في الفيزياء»*. ويضيف: «قال لي بعض نظريي الأوتار إنهم يشعرون أنهم مضطرون إلى العمل في نظرية الأوتار سواء أكانوا يؤمنون بها أم لا؛ ذلك أنه يُنظر إليها كمفتاح الحصول على منصب أستاذ جامعي.»

وبطبيعة الحال، فإن الحجة المضادة هي أن سيطرة نظرية الأوتار ناتجة من إدراك معظم النظريين أنها المقاربة الواعدة حقا - إن رؤية الأوتار المهتزة وهي تعزف التناغم الكوني جميلة إلى حد يجعل النظرية صحيحة بالضرورة؛ إلا أن هذه الميزة أصبحت هي نفسها موضوعا للتساؤل. «فما يلبث المرء - بعد أن بدأ بتعلم تفاصيل نظرية الأوتار الفائقة ذات الأبعاد العشرة، وتعلم **شطب الشذوذ**[5] **وفضاءات <كالابي-ياو>**[6]، الخ - أن يتحقق من أن صلة رنة الوتر ونغماته الموسيقية هي في الواقع مجرد صلة شعرية،» هذا ما ورد في كتاب <P. فويت> [مدرس الرياضيات بجامعة كولومبيا] بعنوان: فشل نظرية الأوتار. وهو يرى أن اللف والدوران اللذين يتطلبهما إخفاء الأبعاد الإضافية، التي لا وجود لها على ما يبدو، أدخلا بُنًى «في غاية التعقيد» و«شنيعة إلى أقصى حد.»

سيعترض فيزيائيون عديدون على هذا الحكم القاسي. لكنه لا يجوز صرف النظر عن هذين الكتابين بحجة نقدهما اللاذع. فكل من <سمولين> و<فويت> يقرّ بالتقدم المهم الذي أحرزته الرياضيات نتيجة تفحصها للأوتار الفائقة؛ ولكن ما من نظرية مناسبة تلوح في الأفق. ولذا فهما يلحان على ضرورة الانتقال إلى غيرها. ويقول <سمولين> «يبدو أن جميع المهتمين بالفيزياء الأساسية يتفقون على الحاجة إلى أفكار جديدة؛» ويضيف «إننا نفتقد أمرا كبيرا.»

لقد بدأ بعض النظريين في السبعينات من القرن الماضي، بعد أن وجدوا أنفسهم عاجزين عن استيعاب قوى الطبيعة الأربع في وعاء واحد، بإضافة فضاءات جديدة، كالفضاء ذي الأبعاد السبعة الذي - على ما يبدو - يتطلبه توحيد القوى. ويمكن باستعمال بعض الحيل الرياضياتية «رصّ» هذه الأبعاد (غير المرئية) وإخفاؤها في شقوق النظرية، لكن كان هناك عدد لا نهاية له من الطرق للقيام بذلك. وقد يستطيع أحد هذه الترتيبات وصف هذا الكون، ولكن أي واحد منها؟

لقد تحول يأس الفيزيائيين إلى إثارة عندما اختزلت الإمكانات إلى خمس ثم إلى ابتهاج في أواسط التسعينات عندما تفوقت هذه الإمكانات الخمسة في ما يسمى **نظرية تغشية** M Theory، التي تَعد بأن تكون الطريقة الصحيحة، وقد تعدى ذلك إلى الأمل بإمكانية التحقق التجريبي من هذه النظرية. وقد كتبتُ أنا شخصيا حينذاك مقالة تحمل عنوانا أصبح محرجا الآن: «لقد وجد الفيزيائيون في نهاية المطاف طريقة لاختبار نظرية الأوتار الفائقة.»

حدث هذا قبل ستة أعوام. وها نحن نسمع <سمولين> و<فويت> ينبئان بعودة الموضوع إلى المربع الأول: توحي الأبحاث الحديثة بوجود 10^{500} نظرية تغشية، جميعها صالحة تماما، وتوصف كل واحدة منها فيزياء مختلفة عن الأخرى. وهكذا أصبحت «نظرية كل شيء،» كما يقول <سمولين> «نظرية لا شيء.»

وقد خلص بعض نظريي الأوتار أمام هذه

(*) THE INTELEGANT UNIVERSE
(1) string theory
(2) branes
(3) curled-up dimensions
(4) metaphysical wonderland
(5) anomaly cancellation
(6) Galabi-Yau spaces

الحرية المطلقة في الاختيار، إلى القول «إن الكون ليس أنيقا وإنما **اتفاقيا**»[1]. وإذا كان الأمر كذلك فإنه لا معنى لمحاولة تفسير قيمة الثابتة الكونية تماما مثلما لا معنى للبحث عن سبب رياضياتي عميق لكون إشارات الوقوف ثمانية الأضلاع أو لكون عدد الفقرات عند الإنسان 33 فقرة.

ويرفض أغلب الفيزيائيين **قدرية ما بعد الحداثة**[2] هذه ويأملون في حدوث طفرة تنير الطريق إلى قمة الجبل. فقد احتشدوا في قاعة الشعب الكبرى ببكين، في صيف عام 2006، بمناسبة انعقاد **مؤتمر الأوتار**[3]، للاستماع إلى ‹ستيڤن هوكينگ› معلنا: «إننا على وشك الإجابة عن سؤال بالغ القدم. من أين أتينا؟ ولماذا نحن هنا؟» ويأملون ألا يكون الجواب: هكذا. ■

عرض ومراجعة

George Johnson

له كتب عديدة، منها: «اللهب في العقل: العلم والإيمان والبحث عن الانتظام.» و«الجمال الغريب: ‹موري گيلمان› والثورة في فيزياء القرن العشرين».

(1) the universe is not elegant but accidental

(2) postmodern fatalism

(3) strings conference

هل الجمال حقيقة والحقيقة جمال؟[*]

*كيف يُطبّق بيت شعر شهير لـ‹**كيتس**›[1] في الرياضيات والعلم.*

لِمَ الجمال هو حقيقة: تاريخ التناظر

تأليف ‹I. ستيوارت›

WHY BEAUTY IS TRUTH: A HISTORY OF SYMMETRY

by Ian Stewart

Basic Books, 2007

عنوان كتاب ‹I. ستيوارت› (الذي ألفه إضافة إلى أكثر من 60 كتابا آخر) مقتبس، بالطبع، من آخر بيتين مبهمين من «**قصيدة لـ كيتس**»[2]، هما:

> «الجمال هو الحقيقة، والحقيقة هي الجمال، هذا كل ما تعرفه على الأرض، وهذا كل ما أنت بحاجة إلى معرفته.»

لكن ما هو الشيء على الأرض الذي كان يعنيه ‹كيتس›؟ لقد وصف الشاعر ‹S. T. إليوت› هذين البيتين بأنهما «لا معنى لهما» وأنهما يحدثان «تشويها خطيرا في قصيدة جميلة.» وقد استهل ‹J. **سايمون**›[3]، نقده لشريط سينمائي بقوله: «إحدى أكبر مشكلات الفن ـ بل ربما أكبر مشكلاته على الإطلاق ـ هي أن الحقيقة ليست الجمال، والجمال ليس الحقيقة. ثم إنه ليس صحيحا أن هذا كل ما نحن بحاجة إلى معرفته. ويهتم **ستيوارت**[4] بالكيفية التي ينطبق بها بيتا شعر كيتس على الرياضيات. وقد كتبت ‹E. **ميلي**›[5] تقول: «‹إقليدس›، وحده، هو من نظر إلى الجمال مجردًا.» وفيما يخص الرياضياتيين، فإن لهم موقفا من المبرهنات العظيمة والبراهين العظيمة، كبرهان إقليدس الأنيق، الذي يثبت أن مجموعة الأعداد الأولية غير منتهية، شبيها بموقف ‹B. **راسل**›[6] منها، عندما وصف جمال هذه المبرهنات والبراهين بأنه «بارد وصارم»، وأنه مماثل لجمال الأعمال الخالدة في النحت.

والفصول العشرة الأولى من كتاب ‹ستيوارت›، التي سردها بأسلوبه الهادئ الذي عُرف عنه، تعرض تاريخا حقيقيا للرياضيات، وهو يركز فيها على مفهوم التناظر. فعندما تُجري عملية على شيء رياضياتي بطريقة تجعله يبدو بعد العملية كما كان قبلها، تكون كشفت النقاب عن تناظر. وثمة عملية بسيطة هي الدوران، فمهما حركت وقلّبت كرة التنس، فلن تغير شكلها. ويقال عندئذ إنها تعرضت **لتناظر دوراني**[7]. فللحرف اللاتيني "H" تناظر دوراني قدره 180 درجة، لأن الحرف لا يتغير عندما تقلبه رأسا على عقب. للحرف أيضا **تناظر انعكاسي مرآتي**[8]، لأنه يظهر على حاله دون تغيير عند النظر إلى صورته في المرآة. وللصليب المعقوف تناظر دوراني قدره 90 درجة، لكنه يفتقر إلى التناظر الانعكاسي المرآتي، لأن صورته في المرآة تغير اتجاهها.

ويرتبط أي نوع من التناظر «**بزمرة**» group ويشرح ‹ستيوارت› مفهوم الزمرة بأسلوب بسيط عن طريق النظر في العمليات التي تُجرى على مثلث متساوي الأضلاع. فإذا دورته بزاوية قدرها 60 درجة في أي اتجاه، فإنه يظهر على حاله. وثمة عملية لكل عملية «عكسية» تلغي العملية الأولى. تصور رؤوس مثلث رمزنا إليها بالأحرف A، B، C. إن تدوير المثلث بزاوية قدرها 60 باتجاه دوران عقارب الساعة يغير من مواقع الرؤوس. وإذا أتبعنا هذا التدوير بتدوير مماثل بالاتجاه المعاكس، عدنا إلى المواقع الأصلية لتلك الرؤوس. وإذا لم تفعل شيئا للمثلث، فإننا نسمي ذلك **عملية «محايدة»**[9]. وتؤلف مجموعة كل التحويلات التناظرية للمثلث زمرته.

يبدأ تاريخ ‹ستيوارت› بالرياضيات البابلية واليونانية، ويعرض مفاهيمها الأساسية بطرائق تسمح لطلبة السنوات

كان التناظر، في وقت من الأوقات، مرادفا للجمال ـ هذا ما أورده ‹W. بليك› عندما قال: «أيها النمر! أيها النمر! المتوهج الساطع في غابة الليل، يا لعينيك وقوائمك الخالدة الذكر التي تصوغ تناظرك الرهيب.»

(*) IS BEAUTY TRUTH AND TRUTH BEAUTY?

(1) John Keats (1795-1825): شاعر إنكليزي يُعدّ واحدا من أعظم الشعراء الإنكليز.

(2) عنوانها: Ode on a Grecian Urn

(3) وهو عالم رياضيات مشهور في جامعة واريك بإنكلترا، وكاتب سابق لعمود «التسلية بالرياضيات» في هذه المجلة.

(4) مؤلف الكتاب وهو عالم رياضيات مشهور من جامعة واريك بإنكلترا، وكاتب سابق لعمود «التسلية بالرياضيات» في هذه المجلة.

(5) Edna Millay (1892-1950) شاعرة وروائية أمريكية.

(6) Bertrand Russell (1872-1970) فيلسوف بريطاني وعالم بالمنطق ومصلح اجتماعي، حاز جائزة نوبل في الأدب عام 1950.

(7) rotational symmetry

(8) mirror reflection symmetry

(9) "identity" operation

الأولى من المرحلة الثانوية بفهمها. ومع متابعة قراءة هذا التاريخ، تصبح الرياضيات ببطء تقنية أكثر فأكثر، وبخاصة عندما نصل إلى **الأعداد العقدية**[1] complex numbers وما نتج منها: الأعداد **فوق العقدية**[2] و**أعداد كايلي**[3]. ويختتم هذا التاريخ باكتشافات <S. لي> Sophus Lie، الذي سميت **زمر لي** Lie groups باسمه، وبأعمال عالم رياضيات ألماني أقل شهرة، اسمه <J. **كيلينك**>[4]، الذي صنف زمر لي. وفي هذا القسم التاريخي كلّه، يمزج <ستيوارت> بمهارةٍ الرياضيات في رسوم تخطيطية شائقة لأولئك الرياضياتيين الذين عرض إسهاماتهم.

ولا ينتقل <ستيوارت> إلى الفيزياء وشرح كيف أن التناظر ونظرية الزمر صارا أداتين ضروريتين للفيزياء، إلا في النصف الثاني من الكتاب. وثمة فصل عن <A. أينشتاين> يعرض مزيجا رائعا من نظرية النسبية الابتدائية وبعض التفصيلات عن حياة <أينشتاين>. بعد ذلك، يقدم المؤلف **نظرية الجسيمات** particle theory والميكانيك الكمومي، وعدة صفحات عن **الأوتار الفائقة**[5]، وهو موضوع يعد، في هذه الأيام، من أكثر المواضيع إثارة في الفيزياء النظرية. و<ستيوارت> متشكك قليلا في **نظرية الأوتار**[6]، التي ترى في جميع الجسيمات الأساسية شعيرات دقيقة، لا يمكن تخيلها، من طاقة متذبذبة يمكن أن يكون لها نهاية مفتوحة أو مغلقة مثل شريط مطاطي. إنه لا يورد ذكر كتابين حديثين (*روجعا في عدد الشهر 2006/9* من مجلة *ساينتفيك أمريكان*) يوجهان نقدا مريرا إلى نظرية الأوتار. فالمؤلف <L. **سمولين**>[7] لكتاب *The Trouble with Physics* يشجب نظرية الأوتار، لأنها برأيه «ليست نظرية على الإطلاق»، بل مجرد خليط غير منظم من التخمينات الغريبة التي تبحث عن نظرية قابلة للحياة. أما كتاب <P. **ووِيت**>[8]، الذي عنوانه «*ليست حتى خاطئة*»[9]، فقد اقتبس هذا العنوان الفيزيائي النمساوي العظيم <W. **پاولي**>[10]، الذي وصف مرة نظرية بأنها سيئة للغاية بحيث إنها «ليست حتى خاطئة».

تُرى، هل نظرية الأوتار جميلة حقا؟ يظن مروجوها أنها كذلك. ويعتقد <سمولين> و<وويت> أن استيعابها حديثا ضمن تخمين أوسع وأغنى، اسمه **النظرية M**[11]، حول الجمال السابق للأوتار إلى بُنى رياضياتية تشبه في قبحها **الدوائر الصغيرة**[12] التي ابتكرها <بطليموس> لتفسير المدارات التي تسلكها الكواكب في دورانها حول الأرض.

لنعد ثانية إلى أبيات الشاعر <كيتس> السيئة السمعة. في رأيي إن <J. سايمون> على حق؛ فحتى البراهين الرياضياتية الجميلة يمكن أن تكون خاطئة. ففي عام 1879، نشر السير <A. كمپ> إثباتا لمبرهنة خريطة الألوان الأربعة. وقد اعتُبر هذا الإثبات أنيقا طوال عشر سنوات؛ لكنه، وللأسف، لم يكن كذلك. ثم نشر واضع الأحجيات الإنكليزي المشهور <H. دوديني> برهانا خاطئا أقصر بكثير، وحتى أبرع بكثير.

وفي المجلة *The New Ambidextrous Universe*، أكتب (المؤلف) عن **النظرية الدوامية للذرات**[13]. وقد كان لهذه المخمنة، التي كانت شائعة في القرن التاسع عشر، شَبَهٌ شديد بنظرية الأوتار الفائقة. فكانت تؤكد أن الذرات لا تشبه النقاط، إذ إنها عرى دقيقة جدا من الطاقة تهتز بترددات مختلفة. إنها دوامات صغيرة جدا موجودة في **الأثير** ether، وهو مادة صلبة **لا احتكاك فيها**[14] كان يُعتقد أنها تتخلل الفضاء كله. وللذرات بنية عقد **ووصلات**[15]، تولد أشكالها واهتزازاتها خصائص المواد. وما إن تُخلق، حتى تدوم إلى الأبد.

وخلال بحثي في النظرية الدوامية للذرات، اطلعت على كثير من آراء فيزيائيين مرموقين، من ضمنهم <L. كلفن> و <J. C. ماكسويل>، ارتؤوا أن هذه النظرية كانت أجمل كثيرا من أن تكون حقيقية. وقد نُشرت أبحاث كثيرة، وأُلفت كتب عديدة في هذا الموضوع. هذا وقادت أبحاث الرياضياتي النمساوي <P. تيت> في الذرات الدوامية إلى إحراز تقدم في **نظرية العقد**[16]. وقد تنبأ <تيت> بأن تطوير الأسس الرياضياتية لهذه النظرية سيستغرق عدة أجيال. ومع أن النظرية الدوامية تبدو جميلة، فقد ثَبُت أنها طريق رائع لا يوصل إلى أي مكان.

ويختتم <ستيوارت> كتابه بحكمتين، أولاهما أن «الجمال في الفيزياء لا يؤكد الحقيقة تلقائيا، لكنه يساعد على الوصول إليها.» والأخرى هي أن «الجمال في الرياضيات هو بالضرورة حقيقي ـ لأن كل ما هو خاطئ لا بد أن يكون قبيحا.» وأنا بدوري أوافق على صحة الدعوى الأولى دون الثانية. فقد رأينا أن برهاني <كمپ> و<دودني> كانا غاية في الجمال، لكنهما خاطئان. إلى ذلك، ثمة مبرهنات صيغت بكل بساطة، ولكن البراهين القبيحة قد تكون البراهين الوحيدة الممكنة التي تثبت هذه المبرهنات.

سأورد مثالين حديثي العهد. فقد تطلب إثبات مبرهنة خريطة الألوان الأربعة استخراج نسخ **ورقية حاسوبية**[17] بسرعة وكثافة عاليتين تجعلان مراجعتها غير ممكنة إلا بالاستعانة ببرامج حاسوبية أخرى. ومع أنه قد يوجد برهان جميل وارد فيما يسميه <P. **إردوس**>[18] «*كتاب الله*»[19] ـ وهو كتاب يعتقد <إردوس> أنه يشتمل على جميع مبرهنات علم الرياضيات، وأجمل البراهين عليها ـ فمن الممكن ألا يكون «كتاب الله» متضمنا هذا البرهان. وينطبق هذا الكلام نفسه على إثبات <A. وايل> للمبرهنة الأخيرة لفيرما [انظر: «*مبرهنة فيرما الأخيرة*»، **العلوم**، العدد 1 (1999)، ص 26]. ومع أن هذا البرهان لا يعتمد على الحاسوب، فإن طوله وتعقيده الشديدين لا يسمحان بوصفه برهانا جميلا، وقد لا يوجد إثبات جميل لهذه المبرهنة. وبالطبع، يحق للرياضياتيين دائما أن يكون لهم آمال واعتقادات مغايرة.

ولما كان التناظر هو الموضوع الذي يربط بين صفحات كتاب تاريخ ستيوارت الرائع، فقد يكون من المناسب وضع مقدمة لهذا الكتاب هي مقطع شعري من قصيدة غنائية خالدة كلها هراء نظمها <L. كارول> بعنوان The Hunting of the Snake. هذا المقطع هو:

إغلها بنشارة الخشب: ملّحها بالغراء كثّفها
بالجراد والشريط: مُبقيا أحد الأشياء الرئيسية
مرئيا للحفاظ على شكلها التناظري. ■

عرض ومراجعة

Martin Gardener

واصل كتابة عمود «الألعاب الرياضياتية» طوال 25 عاما. وقد نُشر آخر كتاب له بعنوان The Annotated Hunting of the Snark في عام 2006 من قبل www.norton.

(1) complex numbers أو الأعداد المركبة.
(2) quaternions أو الأعداد الرباعية.
(3) cayley numbers أو octonions
(4) Joseph Killing
(5) superstrings
(6) string theory
(7) Lee Smolin
(8) Peter Woit
(9) not even wrong
(10) Wolfgang Pauli
(11) M theory نظرية التغشية (التغطية).
(12) epicycles
(13) vortex theory of atoms
(14) frictionless
(15) links
(16) knot theory
(17) computer printout
(18) God's book
(19) M-theory

الأمراض المدارية المهملة(*)

يمكن مكافحة الأمراض الواسعة الانتشار في جميع أرجاء العالم الفقيرة بإنفاق ما يعادل المصروفات العسكرية لأيام قليلة.

يعج كوكبنا بالفرص الرائعة المستندة إلى العلم لتحسين رفاهية الإنسان بتكاليف زهيدة. ولكن هذه الفرص تغيب عن إدراك أصحاب القرار السياسي وعن الناس في غالب الأحيان. ومن أفضل الأمثلة على ذلك معالجة مجموعة من الأمراض المدارية المهملة التي تسبب العجز وتقتل ملايين الناس، ولكنها غير معروفة جيدا بين الأوروبيين والأمريكيين.

ويشير الخبراء اصطلاحيا إلى هذه الأمراض باسم «الأمراض المدارية المهملة»[1]؛ وهي أمراض مُعْدِيَة شديدة الوطأة، تنافس فيما تسببه من مرض وعجز وموت تأثيرات الإيدز والسل والملاريا (البرداء)، إلا أنها أقل شهرة منها. ويعود ذلك جزئيا إلى أنها أمراض لا تصيب إلا الفقراء في المناطق المدارية.

وتنجم سبعة من هذه الأمراض عن عدوى الديدان، وهي: **الديدان الشصية** hookworms، وداء **الديدان المُسلَّكة** trichuriasis، وداء **الأسكاريس (الصَّفَر)** ascariasis، وداء **البلهارسيات** schistosomiasis، وداء **التُّنَيْنات** dracunculiasis أو **الديدان الغينية** guinea worms، وداء **كلابيات الذنب** onchocerciasis، وداء **الفيلاريات اللمفية** lymphatic filariasis. وتنجم ثلاثة أمراض أخرى منها عن الأوالي وهي: **داء الليشمانيات** leishmaniasis وداء **المِثْقَبيات** trypanosomiasis وداء **شاكاس**[1] Chagas disease. كما أن ثلاثة أمراض أخرى ذات منشأ جرثومي وهي: **الجذام** leprosy و**التراخوما (الحَثَر)** trachoma و**قرحة بورولي** Buruli ulcer.

ومن بين هذه الأمراض الثلاثة عشر نجد تسعة (وهي الأمراض السبعة الناجمة عن الديدان بالإضافة إلي الجذام والتراخوما) لها تدخلات وقائية وعلاجية شافية قوية وزهيدة التكلفة وسهلة التنفيذ. وكما أوضح الرئيس <ل. كارتر> من خلال قيادته الشخصية الراسخة طوال أكثر من عشرين سنة، فإن ترشيح الماء بالقماش الرقيق يمكن أن يقلل إلى حد كبير من عبء داء التُّنَيْنات. كما أن الناموسيات (الكِلل) المعالجة بمبيدات الحشرات يمكنها أن تمنع انتقال داء الفيلاريات اللمفي وأن تخفض سراية الملاريا خفضا كبيرا.

وباستثناء داء ديدان غينيا، تستطيع الأدوية أن تعالج جميع الديدان بالمداواة الروتينية القادرة على إبقاء عدد الديدان التي تصيب الفرد بالعدوى، في الحد الأدنى القابل للتحمل. فعلى سبيل المثال، ينبغي أن يعالج جميع أطفال المدارس في المناطق التي تنتشر فيها العدوى بالديدان والبلهارسيات، بالأدوية المضادة للديدان حتى ثلاث مرات في العام. وقد اندفعت الشركات المنتجة للمستحضرات الصيدلانية إلى المساهمة في ذلك. وتبرعت بالأدوية شركات ميرك وگلاكسو سميث كلاين وجونسون أند جونسون وفايزر ونوفارتس وسانوفي-پاستور، إلى جانب مساهمات أخرى لها لمكافحة هذه الأمراض المختلفة. وتقدم هذه الشركات كلها دعمها الصادق لتوسيع برامج المكافحة.

وقد آن الأوان الذي يجدر فيه بالحكومات أن تنضم إلى هذه الجهود أيضا. وقد خصصت حكومة الولايات المتحدة الأمريكية مؤخرا 15 مليون دولار لمكافحة الأمراض المدارية المهملة، وما هذه إلا خطوة البداية؛ إذ إنها أقل من عُشْر المبلغ اللازم للحملة الشاملة من أجل إفريقيا والذي يصل إلى نحو 250 مليون دولار كل عام. إن أفضل الاستراتيجيات هي ربط مكافحة الأمراض المدارية المهملة بمكافحة الملاريا. وبهذا سيكون بإمكان الناموسيات المعالجة بمبيدات الحشرات والعاملين الصحيين في المجتمع أنفسهم المساهمةَ في مكافحة كل من الملاريا والأمراض المدارية المهملة؛ إذ إن للملاريا وللأمراض المدارية المهملة تداخلا جغرافيا واضحا في البلدان المدارية جميعها. وإلى جانب ذلك، فإن ملايين الأطفال في إفريقيا يعانون الإصابة بطفيليات متعددة في الوقت ذاته؛ فهم ضحية الملاريا ومجموعة من الأمراض المدارية المهملة الأخرى. وتؤدي هذه العدوى المتعددة إلى أذيات وخيمة.

> إن أفضل استراتيجية لمكافحة الأمراض المدارية المهملة هي ربطها بمكافحة الملاريا.

وينبغي لأصحاب القرار السياسي في بلادنا أن يفكروا مليا بأن المكافحة الفعالة للأمراض تؤدي إلى تعزيز الاستقرار والرفاهية في العالم، بما ستسببه من تنمية اقتصادية أكثر مما تؤدي إليه الأساليب العسكرية بعد اندلاع الاضطرابات. وقد كانت الإجراءات الموجهة لمكافحة الأمراض ذات فعالية كبيرة في الماضي، حتى في أشد البلدان فقرا. فقد تم استئصال الجدري، كما انخفض عدد حالات شلل الأطفال بنسبة ألف ضعف عمّا كان عليه من قبل في جميع أرجاء العالم، بفضل الجهود التي بذلت في إعطاء اللقاحات، والتي قادها **الروتاري الدولي**[3] بشكل أساسي.

إن المكافحة الشاملة للملاريا وللأمراض المدارية المهملة معا في جميع أرجاء إفريقيا لن تُكلف أكثر من ثلاثة بلايين دولار كل عام، أو ما يعادل نفقات البنتاغون في يومين فقط. ولو خصَّص كل من البليون فرد في العالم الغني ثلاثة دولارات (وهي ثمن فنجان قهوة) كل عام في هذه القضية، لأمكن إنقاذ ملايين الأطفال من الموت ومن الإعاقة سنويا، ولتفادى العالم أيضا أخطارا جسيمة قد تنتج من تجاهل الأمراض واليأس الذي تسببه. وتساعد الشبكة العالمية لمكافحة الأمراض المدارية المهملة (www.gnntdc.org) التي أنشئت حديثا، على تحويل هذه الفرص إلى حقيقة واقعة. ■

المؤلف

Jeffrey D. Sachs

مدير معهد الأرض في جامعة كولومبيا.

(١) وهو شكل آخر من داء المثقبيات يصيب السبيل الناقل للدُّفعات العصبية المنبِّهة لانقباض القلب.

(٢) neglected trofical diseases

(٣) Rotary International

هناك نسخة موسعة من هذه المقالة على الموقع:
www.sciam.com/ontheweb

حشيش أرضيات الملاعب(*)

العشب الطبيعي في مواجهة الحشيش البلاستيكي.

تشهد ساحات الملاعب الرياضية تنافسا قويا بين الأعشاب الطبيعية والحشائش الصنعية.

غالبا ما تؤدي ممارسات الرياضيين ألعابهم، وبخاصة في الأوقات التي تشهد موجات من المطر والبرد والجفاف، إلى تخريب أرضيات الملاعب العشبية. وللتصدي للضرر الذي يلحق بحشائش هذه الأرضيات، اعتمد المسؤولون عن المحافظة عليها وصيانتها بنىً تحتية جديدة تسرّع في تصريف المياه المتجمعة، وتضخ في التربة تيارا من الهواء الساخن لتنشيط جذور تلك الأعشاب والمساعدة على نموها (*انظر الشكل في أعلى اليمين*).

وفي أواخر ستينيات القرن الماضي بدأ استخدام الحشائش الصنعية في تغطية الأرضيات. وكان أول استخدام لها في ساحات مرصد هيوستن الفلكي، لذلك حملت اسما تجاريا هو حشيش أرضيات المرصد. ظل هذا الاسم مرادفا لكافة أنواع الحشائش الصنعية المستخدمة في أرضيات الملاعب في جميع أرجاء البلاد، وامتد هذا الاستخدام ثلاثين عاما على الرغم من شكوى اللاعبين من قساوة وطء أقدامهم عليها ومن تعرضّهم لإصابات رضّيّة عند وقوعهم. وحمل العقد الماضي معه جيلا جديدا من المنتجات، صنعتها شركات مثل الشركة فيلد ترف، وتمّ تبنيها واعتمادها على نطاق واسع؛ وأخذت هذه المنتجات تتباهى بخصلاتها البلاستيكية الأكثر نعومة وتماسكا، والأسهل مداسا والأخف وطأً، بسبب ما تحمله من حُبيبات من المطاط، أو من المطاط والرمل، بين جنبات أوراقها ونصلاتها (*انظر الشكل في أسفل اليمين*).

ويستمر الجدل قائما حول طبيعة التغطية الأفضل لأرضيات الملاعب. ففي صيف عام 2006 جددت جامعة بوردو أرضيات ملعب كرة القدم فيها مستخدمة سلالة جديدة من عشب برمودا، استُنبتت خصيصا لتتحمل درجات حرارة أكثر برودة. يقول <أل كابيتوس> [المسؤول عن حشائش أرضيات الملاعب في الجامعة] «إن المواد الصنعية الجديدة جيدة، لكن لا شيء أفضل من العشب الطبيعي.» ويؤكد المسؤولون عن الملاعب أن معظم اللاعبين يفضلون الأرض المغطاة بالعشب الطبيعي قبل تعرضه لأحوال مناخية شديدة، حيث يجعله الجفاف قاسيا، في حين يجعله المطر زَلقا وغير منتظم. يقول <ل. فراندينا> [المسؤول عن ملعب فريق «بوفالو بيلز» في نيويورك] «إن ما يمكن أن يقام على ملاعب الولايات الشمالية بعد الشهر التاسع من السنة، عندما يتوقف العشب عن النمو، هو ألعاب تجرى في الطين، إذ تكون قد خسرتَ ملعبك لموسم كامل؛» لذلك اعتمدت منشأته، حيث يكثر تساقط الثلوج، على الحشيش الصنعي لسنوات عديدة.

وللتكلفة المالية دورها في إقرار اختيار أحد نوعي التغطية، حيث تراوح القيمة المتوسطة لتكلفة التغطية بحشيش صنعي ما بين 500 000 و 800 000 دولار، أو أكثر من ذلك، في حين تراوح هذه القيمة في حالة العشب الطبيعي ما بين 250 000 و500 000 دولار. لكن هذا العشب يحتاج إلى تسميد وسقاية وتعشيب وتشذيب. ويبقى الخيارُ الشخصي معيارَ الفصل والإقرار. فقد استبدلت جامعة ولاية متشيكان في سنة 2002 وحدات من العشب الطبيعي متداخلة في ما بينها من صنع الشركة «گرين تِك» بولاية جورجيا، بالحشيش الصنعي الذي كان يغطي أرضيات ملاعبها، «رغم وجود منشأة مشهورة بصنع هذه الحشائش في ولاية متشيكان،» كما يقول مؤسس الشركة «لأن العشب هو الأفضل.» كما اختار <فراندينا> [المسؤول عن ملعب فريق بوفالو بيلز] عند تجديد طبقة الحشيش الصنعي التي تغطي أرضيات الملعب في عام 2006، موردا آخر لهذا الحشيش «لأن منتجه يعطي إحساسا أفضل حين وطئه والدوس عليه.»

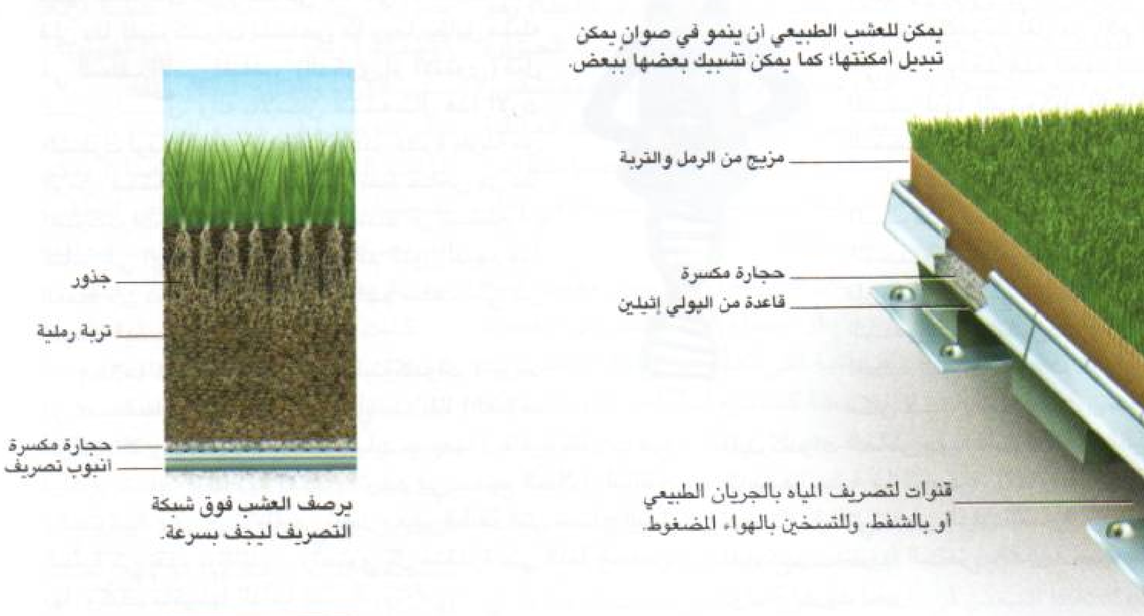
<M. فيسيتي>

(*) STADIUM TURF



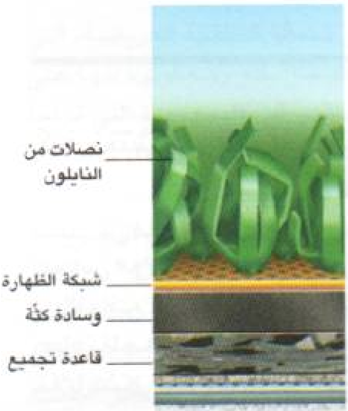
يُحمل الحشيش الصنعي، المصنوع على شكل رقعات متشابكة أو الممدد فوق صوانٍ، على قاعدة من الحجارة المكسرة، وتعمل حشوة من حبيبات من المطاط أو من مغلف من الرمل والمطاط على حفظ نصلات الحشيش منتصبة وقائمة. أما الطبقات الظهارية الداعمة فتثبت النصلات في أمكنتها وتسمح بتصريف المياه.

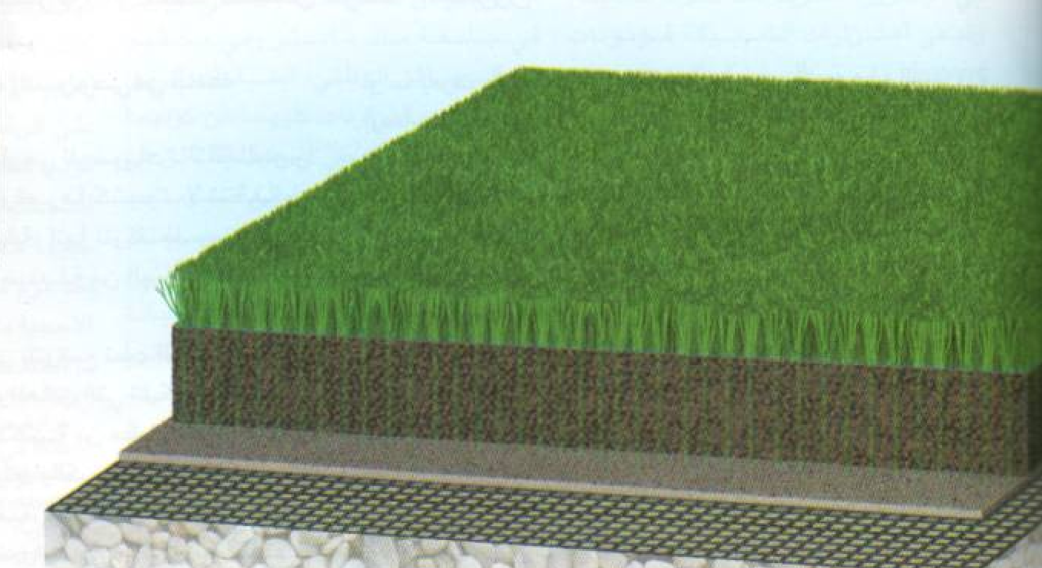
- **طحن الإطارات:** تأتي الحبيبات المطاطية التي تُحشى بين أوراق الحشيش الصنعي من إطارات السيارات القديمة بالدرجة الأولى. يطحن هذا المطاط المسمى مطاط الجوار، حتى تصبح حبيباته بحجم حبات الخرز الصغيرة. وقد يبرّد المطاط أثناء طحنه حتى درجات حرارة شديدة الانخفاض، ويعرف عندها بالمطاط القرّي، ليشكل حبيبات بحجم حبات الرمل، تكون أكثر انتظاما في تكورها مما ينتج عبوات أشد تراصا وأكثر ثباتا.
- **العشب القابل للبسط والطي:** في الشهر 2006/8، افتتحت جامعة فنيكس ملعبا جديدا (هو في الوقت ذاته ملعب فريق «أريزونا كاردينالز»، المحترف في كرة القدم الأمريكية)، وهو أول ملعب في الولايات المتحدة يمكن بسط أرضيته العشبية وطيّها. تقوم هذه الأرضية على قاعدة طولها 403 أقدام وعرضها 234 قدما، قائمة على مجموعة من السكك الفولاذية المثبتة على أرض من الإسمنت المسلح. تبسط هذه الأرضية، البالغة كتلتها 17 مليون باوند، داخل صالة الملعب في أثناء اللعب، وتطوى في الأوقات الأخرى وتحفظ في المكان المخصص لها حيث يمكن لعشبها أن ينمو. وبذلك يمكن أن تعقد في صالة الملعب لقاءات وحفلات موسيقية وسواها. كما أن سقف هذه الصالة، المصنوع من مواد صنعية شفافة، قابل للبسط والطي؛ وقد أقيمت فيها مباراة الكلية في كرة القدم في الشهر 2006/1.
- **الجروح والإصابات:** يقول المدربون الرياضيون لفريق «بوفالو بيلز» (كاتب هذه المقالة واحد منهم) إنهم لم يلحظوا زيادة في تعرض اللاعبين للإصابة بالجروح على الأرضيات المغطاة بالمنتجات البلاستيكية الجديدة، وهو ما كان موضع انتقادهم في بعض الأحيان لتلك المغطاة بالمنتجات السابقة؛ وقد تسبب الأرضيات الجديدة أنواعا مختلفة من الرضوض التي تلحق بالأقدام والأرجل أكثر مما تسببه أرضيات العشب الطبيعي، إلا أنها لا تسبب بالضرورة جروحا أكثر منها.



يمكن للعشب الطبيعي أن ينمو في صوان يمكن تبديل أمكنتها؛ كما يمكن تشبيك بعضها ببعض.

يرصف العشب فوق شبكة التصريف ليجف بسرعة.





تستند الأرضيات الصنعية، التي لا تحمل حشوات في داخلها، إلى ألياف من النايلون مخاطة على شبكة ظهارة مثبتة على وسادة كثة لامتصاص الصدمات. ترتبط الوسادة بقاعدة تجميع مصنوعة من المطاط والبولي يوريثان وبعض الفلزات.

اسألوا أهل الخبرة

كيف يقتفي الباحثون، عبر القرون، أثر دنا DNA الميتوكندرات[1]؟[*]

يجيب عن هذا السؤال *<B. إيلي> [البيولوجي في جامعة ساوث كارولاينا] بالآتي:*

إذا تعرض **دنا الميتوكندرات** mtDNA للتغير، فإنه لا يتغير كثيرا من جيل إلى جيل، أو أنه لا يتغير على الإطلاق. وينتقل دنا الميتوكندرات من الأم فقط إلى أطفالها، فالآباء لا يستطيعون توريث دنا الميتوكندرات الخاص بهم.

ومع أن الطفرات تحدث في دنا الميتوكندرات، فإنها غالبا أقل من واحد في المئة في الأسلاف. لذا، فإن دنا الميتوكندرات لشخص ما ربما يطابق مثيله في السلف الأمّي المباشر (الذكري أو الأنثوي) قبل عشرة أجيال، وإنه بالإمكان استعمال هذا الإرث المشترك لربط الناس ببعضهم عبر فترة طويلة من الزمن. فمثلا، مبدئيا إذا وُجد نمط خاص من دنا الميتوكندرات في إفريقيا أمكننا عندئذ أن نستنتج أن الناس في أي مكان آخر من العالم الذين لديهم هذا النمط من دنا الميتوكندرات لهم سلف أمّي من إفريقيا أيضا.

وخلافا لمعظم الدنا، فإن دنا الميتوكندرات لا يوجد في **صبغياتنا**[2]، أو حتى في نواة خلايانا (الغلاف المركزي الذي يحتوي على الصبغيات جميعها). فالميتوكندرات هي تراكيب صغيرة محددة بغشاء، توجد في جميع الخلايا النباتية والحيوانية، وهي مسؤولة عن توليد معظم الطاقة التي تحتاج إليها الخلية كي تقوم بوظائفها. وتحتوي كل متقدرة على الدنا الخاص بها، وكذلك ماكينتها الذاتية لبناء البروتين.

وقبل أن يشرع الناس في السفر حول العالم، أدَّت التغيرات النادرة التي طرأت على دنا الميتوكندرات إلى نشوء أنماط متفردة من دنا الميتوكندرات في القارات المختلفة. لذا، فإن باستطاعة العلماء أن يُرجعوا معظم أنماط دنا الميتوكندرات المعاصرة إلى القارة الأصل، وذلك بناء على قطعة من دنا الميتوكندرات ـ تُعرف بالرمز HvrI ـ التي تعتبر المكان الأكثر ترجيحا لحدوث الطفرات. وبإمكان العلماء تحليل القطعة HvrI ليجدوا سجلا للطفرات السابقة كافة، ذلك أن دنا الميتوكندرات نُقل من الأم إلى ابنتها ومن جيل إلى آخر. وتُعَدُّ هذه الطفرات المتراكمة الأساس المميز لدنا الميتوكندرات الذي يوجد على وجه التخصيص في كل قارة من القارات.

إضافة إلى الاختلافات الإقليمية في دنا الميتوكندرات أيضا، لذلك من المرجح أن يستقر المتحدرون من امرأة ما في أمكنة متجاورة؛ ومن ثم فإن الطفرات التي طرأت أصلا على دنا الميتوكندرات الخاص بها ستكون عموما محصورة في المنطقة المحلية التي عاشت الأم فيها. وكلما رحل الناس من مكان لآخر، فإنهم يحملون معهم بطبيعة الحال دنا الميتوكندرات الخاص بهم. فمثلا، الناس الذين ارتحلوا واسعا عبر الزمن في مشارف الصحراء الإفريقية، نتيجة لذلك، تشترك الأقوام المختلفة التي تقطن بلدان القارة الإفريقية في نصف دنا الميتوكندرات تقريبا الخاص بالأفارقة جميعهم، كما برهنت على ذلك دراسة أجريت أخيرا. ■

كيف تتشكل القواقع البحرية، أو كيف تتشكل قوقعة الحلزون؟[**]

يجيب عن هذا السؤال *<F. هورن> [البيولوجي في جامعة تكساس الولاياتية] بالآتي:*

إن القواقع التي هي الهيكل الخارجي للرخويات ـ كالبطلينوس clam و**المحار** oyster والحلزون، وغيرها كثير ـ لا تتألف من خلايا تشكل البنى الحيوانية النمطية. إنها تتركب بصورة رئيسية من كربونات الكلسيوم مع كمية ضئيلة من البروتين تقل عادة عن 2 في المئة.

إن نسيج **الرداء** mantle، الذي يتوضع تحت القوقعة ويكون على تماس معها، يفرز البروتين والمعادن التي تشكل القوقعة. في البداية، تتشكل طبقة غير متكلسة من مادة **الكونشيولين** conchiolin؛ مادة تتألف من البروتين والكيتين chitin. والكيتين هو **بوليمر**[3] مقو يُنتج بصورة طبيعية، ثم تتشكل الطبقة الموشورية ذات التكلس الشديد، وتُفرز أخيرا الطبقة اللؤلؤية اللماعة، أو ما يعرف بالصدف (**عرق اللؤلؤ** nacre). وتشبه هذه السيرورة إرساء شبكة الفولاذ (البروتين) في عمارة الأبنية، ثم صب الإسمنت (المعادن) فوقها.

وفي حين أن عظام الحيوانات البرية، كالإنسان مثلا، تنمو مع نمو الكائن الحي، فإن على الحلزون والبطلينوس مثلا أن يزيدا تدريجيا من حجم قوقعتيهما بأن يضيفا مواد جديدة إلى حافات القوقعة. فمثلا، يتوضع القسم الأكثر حداثة من قوقعة الحلزون حول الجوف، حيث يُبرز الرخوي جسمه إلى الخارج؛ والحافة الخارجية للرداء تضيف باستمرار قوقعة جديدة في هذه المناسبة. ■

(*) How do researchers trace mitochondrial DNA over centuries?
(**) How are seashells or snail shells formed?

(1) جمع ميتوكندرة.
(2) أو كروموزوماتنا.
(3) أو مكثور، متماثر، متبلمر.

أخبار علمية

ضربة قاضية في درجات الحرارة العالية(*)

«غراءان» محتملان في الموصلية الفائقة قُضي أمرهما.

خلال الثماني عشرة سنة منذ اكتشافها بقيت الموصلات الفائقة العالية الحرارة(1) أحجية. تُوصِل هذه المواد الخزفية، المؤلفة من أكسيد النحاس، الكهرباء من دون أن تفقد شيئًا عند درجات حرارة أعلى كثيرا من تلك اللازمة للموصلات الفائقة التقليدية، مع أن هذه الحرارة لاتزال أدنى من درجة الحرارة العادية بكثير. ويعرف الفيزيائيون أن سبب الموصلية الفائقة في كلا النوعين من المواد هو إلكترونات متزاوجة ومتجمعة ككل في حالة كمومية جماعية واحدة. لكنهم لا يعرفون ما هو «**الغراء**» glue الذي يسبب تجمعها أزواجا في الموصلات الفائقة العالية الحرارة. وقد اقتُرحت أفكار عديدة لكنه لم يُبرهن على أي منها. وترى دراسة تجريبية حديثة أن بالإمكان إقصاء احتمالين نظريين مهمين.

ويتحقق التأثر الحاسم بين الإلكترونات بوساطة اهتزازات **شبيكة الأيونات الموجبة** latic of positive ions للمعدن في الموصلات الفائقة المنخفضة الحرارة؛ إذ يشوه إلكترونٌ ما الشبيكة لدى مروره فيها، وبعد انقضاء ميكروثوان عدة يؤثر التشوه في الإلكترون الشريك عند دخوله الشبيكة. وتدعى اهتزازات الشبيكة **فونونات** phonons وهي تسلك سلوك الجسيمات بالضبط، ويولّد إصدار الإلكترونات وامتصاصها لها تأثرا تجاذبيا ضعيفا. ويسمي الفيزيائيون هذا النموذج النظرية BCS(2) باسم العلماء الذين استنبطوها رياضياتيا في عام 1957.

وبعد اكتشاف الموصلات الفائقة العالية الحرارة في عام 1986، سارع الفيزيائيون إلى اعتبار أن النظرية البسيطة BCS لا يمكنها أن تفسر سلوك المواد الجديدة. وأول ما في الأمر هو أن الاهتزازات الحرارية الناجمة عن درجات الحرارة العالية يجب أن تقهر أي تجاذب تولده الفونونات (وقد وضع هذا الحد على درجة الحرارة الحرجة مؤخرا في موضع التساؤل). وثانيها أن استبدال **نظائر** isotopes مختلفة في موصل فائق من النوع BCS يغير مواصفات الفونونات (فالذرات الأثقل يجب أن تهتز بصورة أبطأ) وهو نتيجة لذلك يغير بدقة درجة الحرارة الحرجة بمقدار معين. ولكن هذه تتغير بمقادير مختلفة في الموصلات الفائقة العالية الحرارة. وهناك أيضا خواص تفصيلية أخرى يصعب تفسيرها في إطار النظرية BCS.

وكان الفيزيائيون يدرسون مؤخرا **فتلة** kink(3)، أو **انحناء** bend، تظهر في الخطوط البيانية التي تُعبِّر عن طاقة الإلكترونات المتزاوجة كمفتاح لحل لغز القوة المسببة لتجمعها أزواجا. وقد ربط العديد من الباحثين الفتلة بنوع من حالة جماعية بين الإلكترونات تدعى **الرنين (التجاوب) المغنطيسي** magnetic resonance. فيما قدم باحثون مجرِّبون حججا مفادها أن الفونونات هي سبب الفتلة ـ وهذه نتيجة يمكن أن تقلب الحكمة التقليدية حول الموصلات الفائقة غير التقليدية.

ويبدو أن نتائج التجارب التي أجريت في جامعة ماك ماستر وفي مختبر بروكهافن الوطني، أسقطت الرنين المغنطيسي والفونونات كليهما من كونهما الغراء. فقد عُرِّض الموصل الفائق في تجربة هذه المجموعة إلى ضوء تحت الأحمر (IR)، واعتبرت كمية الضوء المنتثر عند كل طول موجي قياسا لطاقة الزوج الإلكتروني. ووجد الفيزيائيون، بقيادة <T. تيموسك> [من جامعة ماك ماستر] ذروة حادة في الضوء المنتثر عند تردد محدد وقائمة فوق **خلفية**(4) انتثار عريضة عند جميع الترددات. من الواضح أن للذروة الحادة علاقة بالفتلة التي تلاحظ أيضا في تجارب أخرى، لكنها اختفت في المواد التي تدعى **زائدة التطعيم** overdoped والتي عدد ذرات الأكسجين فيها أكبر من العدد **الأمثل** optimal للموصلية الفائقة. (تتصف المواد الزائدة التطعيم بالموصلية الفائقة إنما عند درجات حرارة تزداد انخفاضا كلما ازداد التطعيم.) وهذا يستبعد كون الفونونات سبب الذروة والفتلة؛ فالفونونات يجب أن تبقى موجودة في جميع المواد، وحتى في الزائدة التطعيم منها. كما لا يمكن للفونونات أن تكون مسؤولة عن الخلفية العريضة: لو كان كذلك، لاختفت الخلفية عند الترددات العالية، وهذا ما لا يحدث.

كانت العلاقة التي تربط سلوك الذروة الحادة ـ أي الشروط التي تظهر فيها الذروة في المنحنى البياني ـ وما كان يُتوقع من رنين مغنطيسي جيدة. لكن هناك مفاجأة: اختفاء الذروة في المواد الزائدة التطعيم التي لاتزال فائقة الموصلية. ونتيجة لذلك لا يمكنها أن تكون سبب الموصلية الفائقة.

وتبقى مسألة الخلفية العريضة، التي يعتقد <تيموسك> ومعاونوه أنها على الأرجح مؤشر إلى السيرورة التي ترتبط بها الإلكترونات لتشكل أزواجا، كائنة ما كانت هذه العملية. ويحاجّ <M. نورمان> [عالم المواد في مختبر أركون الوطني] أنه على الرغم من أن الغراء لا يمكن أن يكون الرنين المغنطيسي الذي أشبع بحثا، فثمة أسباب قوية تدعو للاعتقاد أنه ذو طبيعة مغنطيسية. وهكذا يستمر البحث، فقد هُزم متنافسان بالضربة القاضية ولكن الأحجية باقية. ■

(*) HIGH-TEMP KNOCKOUT

(1) high critical temperature: high TC؛ أي درجة حرارة حرجة عالية.

(2) BCS هي الأحرف الأولى من أسماء العلماء Bardeen و Cooper و Schrieffer.

(3) kink = tight curl, twist or bend، وتعني فتلة أو طية أو كويّة.

(4) background

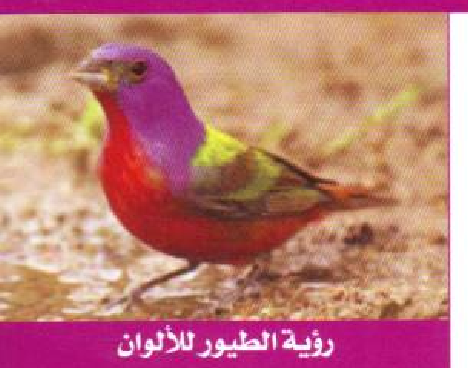
(التحرير)

المجلد 22 ـ العدد 10
أكتوبر (تشرين الأول) 2006



SCIENTIFIC
AMERICAN
October 2006

الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي



رؤية الطيور للألوان



طاقة لدفع طائرة فضائية



جزيئات خضراء (صديقة للبيئة)



نحو سيطرة أفضل على الألم

جينومات للجميع

العدد 222 - السعر 1.500 دينار كويتي

«مجلة العلوم» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «مؤسسة الكويت للتقدم العلمي» وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«ساينتفيك أمريكان» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «ساينتفيك أمريكان» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول.

Majallat AlOloom

المجلد 22 ـ العدد 10
أكتوبر (تشرين الأول) 2006

مجلة العلوم

مقاريب المستقبل العملاقة(*)

<R. كيلموتسي>

مقراب هبل الفضائي
قطر المرآة: 2.4 متر
الميز: 0.04 ثانية قوسية
مدة التعريض: 1600 ثانية

المقراب البالغ الضخامة VLT [المزوّد ببصريات تكيفية]
قطر المرآة: 8.2 متر
الميز: 0.012 ثانية قوسية
مدة التعريض: 160 ثانية

المقراب OWL المقترح بناؤه
قطر المرآة: 100 متر
الميز: 0.001 ثانية قوسية
مدة التعريض: ثانية واحدة

يفيد المدلول الفلكي لقانون مور Moore أن حجم المقاريب يتضاعف كل بضعة عقود. لكن المصممين في هذه الأيام يعتقدون أن بمقدورهم بناء مقراب أكبر ثلاثَ أو أربعَ، أو حتى عشرَ مرات، خلالَ عقد واحد من الزمن.

بعض أحسن أوقاتي، في مرصد بارنال[1] بجمهورية تشيلي، أمضيها ليلا، وذلك عندما أذهب بعد يوم من العمل إلى ما نسميه «السطح العلوي»، وهو المنصَّة التي تحتضن المقاريب الأربعة التي يبلغ قطر الواحد منها ثمانية أمتار، والتي يتألف منها مشروع المقراب البالغ الضخامة Very Large Telescope (VLT). فكل شيء هناك ساحر خلاَّب: الامتداد الواسعُ للسماء النجمية والحركاتُ السَلِسةُ للقباب والمتعة غير المستحبة التي تغمرني عندما أدخن غليوني والصحراءُ المظلمةُ التي يصعبُ رؤية حدودها مع الأفق بسبب سطوعه الضعيف. وخلال وقوفي هناك متأملا بإعجاب المقراب VLT ـ أكثر مجموعة من المقاريب تطورا في العالم ـ ومتمتعا بمنظر آلاته الأربع التي تزن 430 طنا، وتدور بهدوء وكأنها تؤدي مع السماوات رقصة باليه معقدة، كنت أفكر مليا في حظي السعيد الذي ساقني إلى العمل في مثل هذا المشروع الرائع. وإنه لإنجاز باهر أن تشارك البشرية كلها بالإسهام فيه. وكما هي الحال في جميع المقاريب الضخمة الأخرى الموجودة في أيامنا هذه، مثل مرصد كيك Keck Observatory ومقراب هبل الفضائي Hubble Space Telescope والمقراب Very Large Array، يشتمل المقراب VLT على أعلى التقانات التي تَعَيَّن على حضارتنا إبداعها. وإذا تَحَرَّيْتَ أصل كلِّ جزء من المشروع، توصَّلْتَ إلى أن إنجازه تطلَّب، في النهاية، جهودَ ملايين من الناس.

لكن الفلكيين لا يكلّون ولا يملّون. فما إن اكتمل بناء المقراب VLT، حتى شرع كثير منا في التفكير بمقاريب تخلفه، تراوح أقطار مراياها الأولية ما بين 25 و 30 مترا، أو حتى 100 متر. وإحدى الأفكار التي كانت تدور في ذهني تصميم مقراب أسطوري اسمه OWL (وهذه الأحرف الثلاثة هي الأحرف المائلة في الكلمتين *O*ver *W*helmingly *L*arge، أي «كبير بقدر هائل»)، يسمح برصد ليلي رائع، وتملأ مرآته الضخمة، التي قطرها 100 متر، السطحَ العلويَ كله تقريبا لمرصد بارانال.

وكما هي الحال في جميع الآلات العلمية

المقراب البالغ الضخامة(VLT) [بدون بصريات تكيفية]
قطر المرآة: 8.2 متر
الميز: 0.4 ثانية قوسية
مدة التعريض: 620 ثانية

من لطخة غير واضحة إلى مَعْلَم واضح: يحظى مقراب ضخم مزوَّدٌ ببصريات تكيفية، برؤية أكثر حدة من رؤية حتى مقراب هبل الفضائي [تستند هذه المحاكاة إلى صورة المقراب VLT للضوء تحت الأحمر القريب الصادر عن منطقة التكون النجمي 3603 NGC].

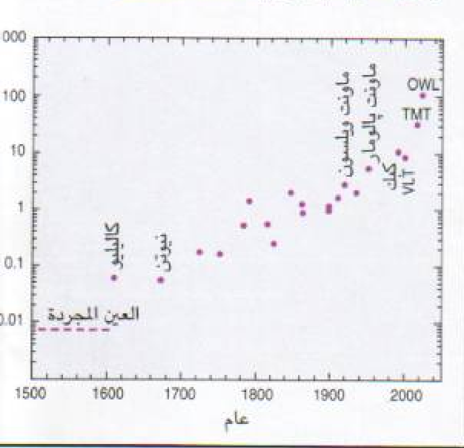
(*) THE GIANT TELESCOPES OF THE FUTURE
(1) Paranal Observatory

الجديدة، فإن المقاريب العاملة في هذه الأيام، التي قياس أقطارها يراوح ما بين 8 و 10 أمتار، لا تقتصر على تقديم إجابات عن الأسئلة التي بنيت من أجلها، إنما أيضا تطرح أسئلة جديدة أكثر عمقا وتحديا تتطلب معالجتها آلات أكبر. فتحليل تركيب الكواكب الشبيهة بالأرض في منظومة نجمية أخرى؛ والبحث عن آثار للحياة عليها؛ ودراسة أولى المجرّات التي نشأت في الكون؛ وفهم طبيعة المادة العاتمة والطاقة العاتمة؛ وتصوير حشود الأجسام في منظومتنا الشمسية التي تقوم السفن الفضائية بدراستها ـ كل هذا يدفع الفلكيين إلى التفكير في جيل من المقاريب الضوئية العملاقة التي تتجاوز قدراتها قدرات المقاريب المتوافرة في هذه الأيام بمئات أو آلاف المرات. وقد ارتأت وكالات أوروبية مختلفة أن مثل هذه المقاريب تشغل قمة أولويات علم الفلك؛ وترى أكاديمية العلوم الوطنية الأمريكية أنه لا يعلو على هذه المقاريب سوى وريث مقراب هبل الفضائي، وهو **مقراب جيمس ويب الفضائي** James Webb Space Telescope (JWST). ويوجد الآن عدد من المشاريع التي يجري التفكير فيها، ومن ضمنها المقراب OWL و**مقراب الثلاثين مترا** Thirty Meter Telescope (TMT) و**مقراب ماجلان العملاق** Giant Magellan Telescope (GMT) الذي قطره 24 مترا.

ومن الناحية التاريخية، خضعت المقاريب للمدلول الفلكي لقانون مور، إذ كان كِبَرُ مقاريب كل جيل منها يُعادل تقريبا ضعف كبر مقاريب الجيل السابق له، وكان الانتقال من جيل إلى الجيل الذي يليه يستغرق عدة عقود. وهذه النزعَة إلى تطوير بناء المقاريب توضحها «متتالية كاليفورنيا»[1] الآتية، التي تبيِّن تسلسل بناء المقاريب خلال القرن العشرين: مقراب هوكر[2]، المقام على ماونت ولسون، والذي قطره 2.5 متر (1917)، مقراب هيل[3] الذي بُنِيَ على ماونت بالومار، والذي قطره خمسة أمتار (1948)، مقرابا كيك[4] التوأمان المقامان على ماونت ولسون في ماونت كيا بجزيرة هاواي (1993). بعد هذا المقراب، يجب أن يكون قطر مقراب الجيل التالي نحو 20 مترا، وأن يبدأ عمله عام 2025 تقريبا. تُرى، هل هؤلاء الذين يقترحون معنا بناء مقاريب تراوح أقطارها ما بين 25 مترا و100 متر بحلول منتصف العقد القادم قد فقدوا رشدهم؟ إن إلقاء نظرة عن كثب على تحديات بناء مقراب قد يجعلك تؤمن بسلامة عقول هؤلاء الفلكيين. فبناءُ مرصد أرضيٍّ ضخم ضروري لا لأن الحاجة إليه ملحّة فحسب، وإنما أيضا لأن معظم التقانات اللازمة لإنشائه متوافرة.

مدى التحسينات(**)

يتجلّى الدافع القوي لتحدي قانون مور فيما يخص المقاريب في أنه لم يَعُدْ لدى الفلكيين من خيارات لتحسين قدرة أجهزتهم الحالية على تجميع الضوء. ففي مقراب عاكس، يرتد الضوء أولا عن مرآة أوّليّة، ثم يصطدم بمرآة ثانوية لتجمّعه في بؤرة



ستواصل المقاريب المقترح بناؤها، مثل OWL و TMT، نزعتها التاريخية إلى زيادة مساحة فتحاتها.

(محرق) موجودة في موقع ملائم يمكنك رؤيته بعينك، أو تأخذ صورة له، أو تحلّله إلى مجموعة متنوعة واسعة من ألوان التحليل الطيفيّ. وعندما يتحدث الفلكيون عن حجم مقراب، فهم يقصدون قطر مرآته الأوّليّة. وتسمح لك مضاعفة هذا القطر برؤية أجرام سماوية بالسطوع نفسه، لكن عندما يتضاعف بعدها عنك.

وخلال السنوات الخمسين الأخيرة، صارت المقاريب أشد حساسية للأجسام ذات الضوء الباهت. ولا يعود السبب في ذلك إلى تكبير قطرها فحسب، وإنما أيضا إلى الإنجازات التي تحققت في تقانة **المكشافات** detectors. وخلال بناء مقراب هيل، الذي قطره خمسة أمتار، جرى تجهيزه بصفائح فوتوغرافيّة لا تسجّل سوى بضعة أجزاء في المئة من الضوء الساقط عليها. لكن فعالية المكشافات الإلكترونية في هذه الأيام قريبة من 100 في المئة ـ وهذا يؤدي إلى تحسن في الحساسية يعادل زيادة في القطر خمس مرات. لذا فإن الجيل الحالي من المقاريب هو في الواقع أكبر من أسلافه 10 مرّات. وكي يقوم الجيل التالي بإنجاز القفزة نفسها، في ظروف لا تسمح إلاّ بمجال محدود جدا

نظرة إجمالية/ المقاريب الكبيرة جدا جدا(*)

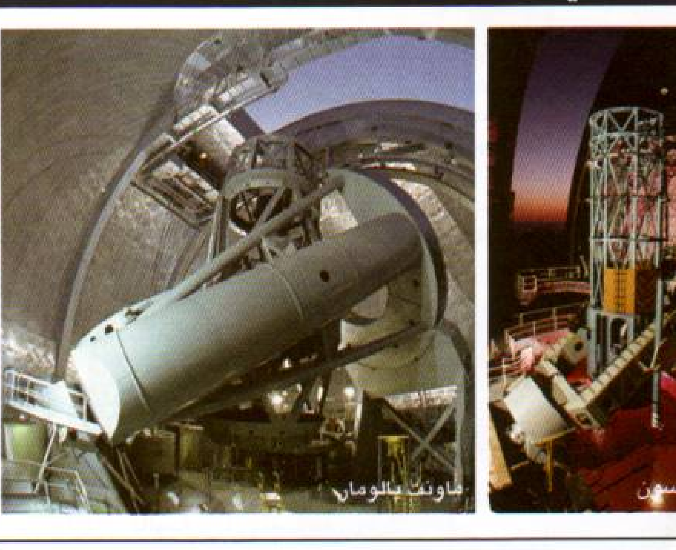
- الحجم مهمٌّ في علم الفلك. فالمقاريب الكبيرة قادرة على كشف أبهت الأجرام السماويّة والحصول على صور أشدّ وضوحا. ولأكبر المقاريب الحالية للضوء المرئي والضوء تحت الأحمر القريب مرايا أقطارها تراوح ما بين 8 و 10 أمتار. ويعكف الباحثون حاليا على دراسة الجيل التالي من المقاريب التي تمتد أقطارها من 20 مترا إلى عدد أسطوري يصل إلى 100 متر.
- مع أن المقاريب مقامة على الأرض، فستزوَّد بتقانة البصريات التكيفية لتعطيل آثار الضبابيّة التي يحدثها الجوّ. وفي الحقيقة، ستزودنا هذه المقاريب بصورٍ أوضح كثيرا من تلك التي يوافرها مقراب هَبل الفضائي وبتكلفة أقل. وتسمح هذه الآلاتُ الجديدةُ بإنجاز عدّة مهمّات تتجاوز قدرات المقاريبِ الحاليّة، مثل البحث عن كواكب تدور حول نجوم أخرى، وتحليل تركيب ما تكشفه منها.

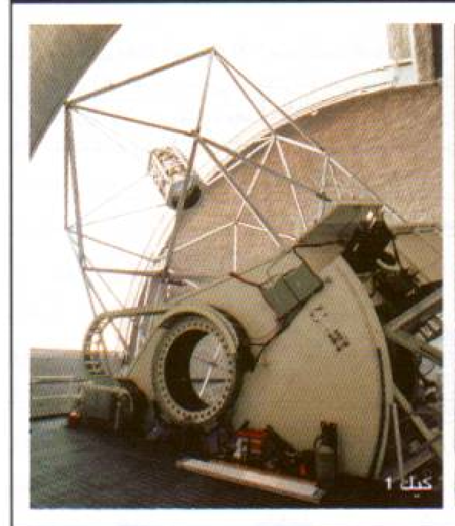
(*) Overview/ Very, Very Large Telescopes
(**) Scope for Improvement
(1) California progression
(2) Hooker telescope
(3) Hale telescope
(4) twin Keck telescopes

المسار الزمني لتطور المقاريب(*)









لإحراز مزيد من التقدم في فاعلية الكشافات، فلا بدّ أن تكون أقطار المقاريب 100 متر.

ومع أن ثمة حوارا وديًّا، إن صح التعبير، يدور بين مؤيدي التصاميم المختلفة لمقاريب المستقبل حول أكبرِ قطر يمكنهم بلوغه واقعيًا، فلا يشكّ أيٌّ منهم في الحاجة إلى إعطاء الجيل التالي من المقاريب دفعة إضافية في حجمها. وتقليديا، ظلّ حجمُ المقاريب في التصاميم الجديدة محدودا بالقدرة على إنتاج زجاجٍ مرآوي يمكن صبُّهُ ليتخذَ الشكلَ المطلوبَ، ثم صقلُهُ. ولما كان للضوءِ المرئيِّ طولٌ موجيٌّ أقصرُ من طول الموجات الراديوية، لذا، وعلى الرغم من إمكان جعل الأطباق الراديويّة بالغة الضخامة، فإن متطلباتها أقلّ صرامة بكثير من متطلبات المرايا الضوئية. ولتمثيل هذا الفرق بين المتطلبات نقول إنّ المحرّكَ الذي تحتاج إليه للتحكم في حمل حبة من الرمل يختلف عن المحرك اللازم لحمل صخرة.

لمقراب هيل الذي قطره خمسة أمتار مرآة لها شكل مجسم القطع المكافئ(1)، ودقة استواء سطحها 50 نانومترا. ولو كانت مساحتها تعادل مساحة مرآة أتلانتيك أوشن(2) لكان ارتفاع أكبر نتوء على سطحها خمسة سنتمترات. وقد استعملَ صانعوها لصقلها أداة صقلٍ خشبية مغطاة بالقارّ؛ وفي المراحل الأخيرة من العمليّة، صقلوا بعض أجزائها يدويا. وقد استغرق إنجازُ هذه المهمة 11 سنة (من ضمنها سنوات الحرب العالمية الثانية)، وخلال تلك المدة، كانت قياسات شكل المرآة تُؤْخَذُ كلَّ يومين.

ويُضْبَطُ شكلُ المرايا في هذه الأيام بتحكّمٍ حاسوبيٍّ، وهذا يختصر كثيرا من مدة إنجازها. وقد استغرقَ صقلُ كلٍّ من مرايا VLT الأربع التي قطرها 8.2 متر سنة واحدة، وكانت القياسات تُؤْخَذُ دون انقطاع تقريبا. وتعادل جودةُ سطوحها، أو تتجاوز قليلا، جودة مرآة هيل، مع أن شكلها (مجسم قطعٍ زائد(3) وهو يُحْدِثُ أشد تركيز بؤري ممكن) أكثر تعقيدا بكثير. لذا، لم يعد يمثلُ الصقلُ حجرَ عثرة رئيسيا.

وثمة مشكلة أصعب، هي تصنيع الزجاج نفسه. فبغية صبِّ قطع زجاج قطرها ثمانية أمتار، تعيّن على صانعي المقاريب أن يقيموا معامل خاصة لهذا الغرض، وأن يسلكوا طريقا تجريبيا وعرا، إذْ كانوا غالبا يصنعون عدة مرايا ثم يكسرونها قبل توصّلهم إلى المرآة المنشودة. ولا ترقى الإجراءاتُ الحاليّةُ إلى بلوغ حتى ضعف الحجم. ولحسن الحظ، فقد قدّمَ الحلَّ الفلكيُّ الايطاليُّ <H .G دارتورو> عام 1932: إنه المرآة المكوّنةُ من عدة قطع. وعلى سبيل المثال، فإن مرآتي مقراب كيك التوأمي مكونتان من 36 قطعة، كل منها مسدس قطره 1.8 متر. ويسمح الشكل السداسي لهذه القطع بالتصاق بعضها ببعض التصاقا محكما لملء سطح مجسم القطع الزائد. ولكل من هذه القطع شكل مختلف قليلا، يتوقف على بعد القطعة عن مركز المرآة. ومن حيث المبدأ، يمكن تكييف تصميمها لتتلاءم مع أي مساحة للمرايا. لكن الوجه السلبي لهذه العمليّة هو الحاجة إلى رصفِ القطعِ بدقة الأطوال الموجيّة الجزئيّة، وذلك للتقليل إلى الحد الأدنى من أثر الوصلات في جودة الصورة، وللإبقاء على التصاقٍ جيد للقطع بعضها ببعض على الرغم من الرياح العاتية التي تهب عليها.

وكما هي الحال في مقراب كيك، فإن مقرابي OWL و TMT سيتكوّنان من قطع سداسية الشكل. لكن مصممي مقراب GMT سلكوا طريقا آخر: فبغية تقليل عيوب صنع المرآة من مجموعة من القطع إلى حدها الأدنى، فقد قرروا إنتاج عدد أقل من القطع، لكن بحجم أكبر. وسيكون مقرابهم مكوّنا من سبع مرايا دائرية قطرها 8.4 متر (أولاها دخلت مرحلة التصنيع فعلا، وذلك للبرهان على صحة المبدأ الذي ارتضوه)(4). والسبب في اعتماد هذا الأسلوب هو صعوبة متابعة السير في عملية التكبير شوطا أبعد من ذلك.

(*) A Timeline of Telescopes
(1) paraboloid
(2) Atlantic Ocean
(3) hyperboloid
(4) انظر: *"Breaking the Mold,"* by W.W. Gibbs; *Scientific American*, December 2005

رؤية لمقراب من النمط OWL(*)

سيكون مقرابٌ حجمه 100 متر أكبر 10 مرّات من أيّ آلة ضوئية كبيرة بُنيت حتى الآن، لكنْ ثمة عدد من الابتكارات التي ستُبقي تكلفته في حدود بليون يورو (1.2 بليون دولار تقريبا) ـ وهذا مبلغ أقل من تكلفة مقراب فضائي. ويشمل هذا السعر مكشافات وبُنى تحتية وكذلك أموالا احتياطية للمصروفات الطارئة.

المقاريب الحالية

كيك	پالومار	كيك	پالومار
المرايا الأولية: 10 أمتار، 36 قطعة، عرض القطعة 1.8 متر، الثخانة 7.5 سم	5 أمتار، قطعة واحدة	القباب: 31 مترا × 37 مترا	48 مترا × 44 مترا

المراة الثانوية

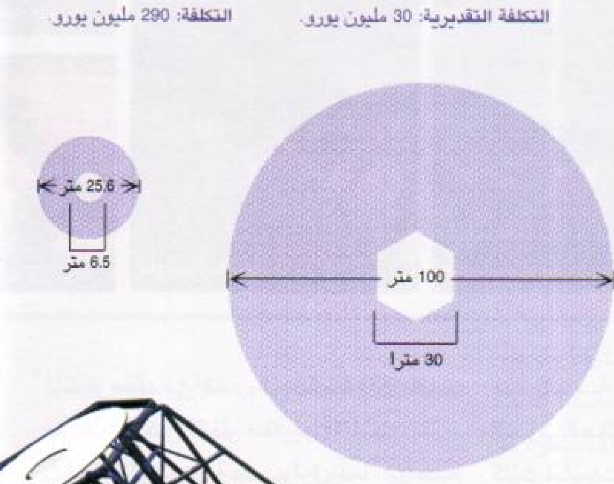
هذه المرآة [التي توجّه الضوءَ النجميَّ إلى المصحح] مكوّنة من 216 قطعة. ولتسهيل المتطلّبات الميكانيكيّة، تتخذ المرآة شكلا مستويا لا شكلا منحنيا.

التكلفة التقديرية: 30 مليون يورو.

المراة الأوليّة

تتكوّن المرآة الأوّليّة [التي تُجمّع الضوء النّجمي] من 3048 قطعة سداسية الش... وللاقتصاد في النفقات، تغطي هذه ال... سطحا كرويا بدلا من مجسمات القطو... المكافئة أو الزائدة العادية.

التكلفة: 290 مليون يورو.



العرض: 220 مترا
الارتفاع: 95 مترا

الغطاء

يؤدي وزنُ قبة قطرها 100 متر من النمط الدوّار المألوف إلى كسر حافتها. ومن ثَم فالمقراب يعمل في الهواء الطلق، ويغطى بغطاء بسيط [لكنْ ضخم] سحّابٍ لوقاية المقراب في الطقس العاصف.

التكلفة التقديرية: ما بين 70 و 150 مليون يورو.

المرايا الأولية

مبنى الخدمات

آليات الدفع

يزن المقراب نحو 000 15 طن ـ وهذا بالغ الثقل لركيـ... mounts المقاريب العادية. وبدلا من ذلك يُركّب على عربات نقلٍ منخفضة(1) تسير على سكك دائرية.

التكلفة التقديرية: 30 مليون يورو

البنية

يتشوه الهيكلُ الداعمُ تناظريا حين إمالته نحو الأفق مبقيا المرايا متراصفة. ويتغير الانزياح الأفقي من 0 [*اللون الأزرق*] إلى 0.6 مليمتر [*اللون الأحمر*]. ومع أن البنية تبدو وكأنها تغطي المرآة، فهي لا تحجب إلا نحو 3 في المئة من الضوء الوارد.

التكلفة التقديرية: 185 مليون يورو.

(*) Vision for an Owl

(1) bogies

التجهيزات الضوئية الفعالة

عرض كل قطعة: 1.6 متر
سُمْكُ كل قطعة: 15 سنتيمترا

مرآة ثانوية

مرآة قطرها 8.2 متر

مرآة قطرها 8.2 متر

مرآة قطرها 2.35 متر

مرآة قطرها 4 أمتار

المصحح

بعد ارتداد الضوء عن المرآتين الأولية والثانوية، يدخل إلى المصحح المكوَّن من أربع مرايا صغيرة [غير مبيَّنة في الشكل بالنسب الحقيقية لقياساتها] مهمَّتها إزالة تشوهات الصور.

التكلفة التقديرية: 55 مليون يورو للمرايا؛ 100 مليون يورو للبصريات التكيفية.

البحث عن رؤية(*)

ليست حساسية المقاريب للأجسام الباهتة الضوء سوى إحدى المواصفات المنشودة لهذه الآلة. وثمة مواصفة أخرى هي الميز(٢). ومن حيث المبدأ، يجب أن يكون المقراب الكبير قادرا على توفير كلتا المواصفتين. وكلما كَبُرَ المقراب، قلَّ فساد الصور نتيجة الانعراج(٣)، الذي يتسبب في اللطخات(٤) التي تحدث عندما تغير الموجة الواردة اتجاه جبهتها بسبب الحافة الخارجية للمرآة. بيد أن الانعراج كان، حتى عهد قريب، مسألة فيها نظر عندما يتعلق الأمر بالمقاريب الضوئية المقامة على الأرض. فحتى في أفضل المواقع لبناء المراصد، يجعل اضطرابُ الهواء أيَّ شيء، انفراجه الزَّاويّ أصغر من 0.3 ثانية قوسية، ضبابيا وغير واضح المعالم. وإذا وَجَّهْتَ نَظَرَكَ إلى نجم منكب الجوزاء(٥) العملاق (0.05 ثانية قوسية) بواسطة مقراب پالومار، الذي حجمه خمسة أمتار وتكلفته 100 مليون دولار، فكل ما تراه نقطة متلألئة من الضوء الأحمر تبدو أسطع، لكن ليست أوضح، مما يمكن رؤيته بالعين المجردة.

وتعاني المقاريب الفضائيةُ مشكلة معاكسة، إذ إنها تقدم صورا عالية الميز، لكنها تفتقر إلى حساسية رؤية أضعف الأجسام ضوءا؛ هذا إذا تجاوزنا حقيقة شطرها للضوء إلى عدة ألوان نتيجة تحليلها لمكوناته. لقد حَدَّدَ حجمُ المكوك الفضائيِّ قطر مقراب هبل الفضائي بمقدار 2.4 متر، وحتى قطر مرآة المقراب JWST، فستكون 6.5 متر. هذا ويجب إجراء التحليل الطيفيِّ لما تكتشفه السَّواتل(٦) من الأرض.

هذه المبادلة(٧) بين الحساسية والميز شيءٌ غيرُ مستحسنٍ للجيل التالي من المقاريب، التي تتطلب أهدافُها العلميّةُ تَحَقُّقَ كليهما في وقت واحد. وخلال تعريض مقرابٍ قطره 100 متر للضوء طوال إحدى الليالي، فسيكون قادرا على رؤية أجرامٍ سماوية سطوعها يعادل جزءا في الألف من أضعف سطوع رآه الفلكيون حتى الآن. وحيث ترى المقاريب الحالية لطخة سوداء في الفضاء، يرى ذلك المقراب حشدا من الأجسام المعتمة. وفي غياب ميزٍ عالٍ، يندمج جميع هذه الأجسام معًا.

إن اجتماع المَيْزِ العالي والحساسية العالية مهمٌّ جدا لاكتشاف كواكب شبيهة بالأرض خارج المنظومة الشمسيّة. ولرؤية هذه الكواكب، التي سطوعها أقل من جزء في البليون من سطوع النجم الذي تدور حوله، يتعيّن على الفلكيين حَجْبُ النجم باستعمال قرصٍ صغيرٍ عاتمٍ يُسمَّى راسم الإكليل(٨). إلاّ أنه إذا كان هذا القرص كبيرا جدا، حَجَبَ الكوكب أيضا. ويعني المَيْزُ العالي أنّ بمقدور الفلكيين استعمالَ قرصٍ صغيرٍ، وهذا يزيد من عدد الكواكب التي يكتشفونها. وأصغر حجم لمقراب يمكنه مسح مجرتنا بحثا عن كواكب لها مدارات شبيهة بمدار أرضنا هو 80 مترا تقريبا. وباستطاعة هذا المقراب أن يُجرِي عمليات بحثٍ في رقعة من الفضاء تتضمن نحو 400 منظومة نجمية شبيهة بمنظومتنا الشمسية، وأَنْ يقومَ بتحليلٍ طيفيٍّ لقرابة 40 كوكبا من الكواكب الشبيهة بالأرض، إن وُجِدَ مِثْلُ هذه الكواكب. وللحصول على طيف أيٍ من هذه الكواكب، يتعيّن على المقراب تجميعُ الضوء طوالَ أسابيعَ، وهذا قد يكون مستحيلا.

طَوِّرْ وَتَكَيَّفْ(**)

لبلوغ هذا الميز العالي، يجب أن يعتمد المقراب على البصريات التكيُّفيَّة(٩) لإزالة التشوهات التي تحدثها الاضطرابات الجوية. ولتحقيق هذا الغرض تُجرى مراقبةُ نجمٍ مرجعيٍّ (يمكن أن يكون «نجما» صنعيا يتولد بواسطة إضاءة ليزرٍ في طبقات الجو العليا)، ويُعدَّلُ شكل مرآة أخرى أصغرَ موضوعة بين المرآة الثانوية والمكشافات. وتقوم مجموعة من المكابس الصغيرة، أو المحفِّزات(١٠)، بدفع القسمِ الخلفيِّ من المرآة لتعديل شكلها.

ويُمَكِّنُ هذا النظامُ مقرابا من العمل

(*) Vision Quest
(**) Evolve and Adapt
(١) sensors
(٢) the resolving power، أي القدرة على تمييز التفصيلات الدقيقة.
(٣) diffraction
(٤) blurring ring
(٥) star Belelgeuse
(٦) satellites
(٧) trade-off
(٨) coronograph
(٩) adaptive optics
(١٠) actuators

بميزه الأعلى، أو قريبا منه، وكأن الجو غير موجود - ولا يحدّ من ذلك إلاّ انعراج الضوء. ويتعين على مقراب قطره 100 متر أن يكون قادرا على رؤية أشياءَ انفراجها الزاوي 0.001 ثانية قوسية، وهذا أفضل أربعين مرّة من قدرة مقراب هبل على رؤية تلك الأشياء. وبواسطة مثل هذا المقراب لا يبدو منكب الجوزاء مجردَ نقطة من الضوء، بل صورة ذات 3000 بكسل، مقدِّمة مستوىً من التفصيل غير متوافر حاليا إلاّ في الكواكب القريبة.

وتُستعملُ هذه التقنيةُ على كثيرٍ من المقاريب الكبيرة، بيد أن جعلها تعمل في الأنظمة التي لها حجم أكبر يتطلب تضخيمها. لكنْ ليس من الواضح البتة أن هذا المتطلَّب ممكنُ التحقيق. إن استخدام نظامِ بصرياتٍ تكيُّفيّة على مقرابٍ قطره 100 متر يستلزم أكثر من 100 000 محفِّز. وتجدر الإشارة إلى أنّ لأنظمة هذه الأيام 1000 مُحَفِّزٍ على الأكثر. ويتعين على حاسوب التحكّم أن يكون قادرا على تغيير شكل هذه المرآة عدة مئات من المرات في الثانية، لكن تقانة المعالجات لم تَرْقَ إلى هذا المستوى بعد.

ويسلك المهندسون في هذا الموضوع أسلوب الإنجاز على مراحل، وذلك ببنائهم أولا أنظمة تعمل بأطوالٍ موجية تحت حمراء، وهذه تحتاج إلى عدد أقل من المحفِّزات، لأن شدة أثر الاضطراب تقلّ مع ازدياد الأطوال الموجية. ويجب على المهندسين أيضا أن تكون لديهم القدرة على الإفادة من الجهود المبذولة في تطوير بصرياتٍ تكيُّفيّة متقدمة للطبّ والطيران الفضائي والرقابة العسكرية والإلكترونيات المستهلكين. وثمة تقنية جديدة واعدة بوجهٍ خاص هي البصريات التكيفية المتعددة الترافق[1] التي تُجري التصحيحات المتعلقة بالاضطراب على ساحة واسعة للرؤية، وهذا يجعل الأنظمة غيرَ مقصورة على اللطخات الصغيرة في السماء المحيطة بنجمٍ مرجعي[2]. ويعكفُ مشروع VLT حاليا على دراسة الاستعمال الفعّال للبصريات التكيفية المتعددة الترافق.

ويمكن لقياس التداخل[3]، وهو تقنية تدمج الضوء الوارد من أكثر من مقراب، إنجازُ مَيْزٍ أعلى حتى من ميز المقاريب الكبيرة المقترحة[4]. وتطبَّق هذه التقنيةُ في مرصد بارانال. هذا وإن المقاريب VLT الأربعة مبنيَّة في مواقع تفصل بينها مسافةُ 130 مترا، ومن ثَم يولِّد دمجُ ضوئها الميزَ نفسه الذي يوافره مقراب قطره 130 مترا، وهذا يزودنا بتفصيلاتٍ رائعة عن الأجسام التي تدرسها تلك المقاريبُ. بَيْدَ أن لمقاييس التداخل محدوديتَها، إذ إنها لا يمكن أن تَرْصُدَ سوى ساحة صغيرة للرؤية، فاستعمالها يشبه النظر عبر ماصّة شراب. يضاف إلى ذلك أنّ تعقيد أدواتها البصرية يجعلها قادرة على استعمال نسبة مئوية صغيرة جدا من الضوء الذي تجمعه، مقابل نسبة 50 في المئة أو أكثر من الضوء الذي تجمعه المقاريب العادية. وفي جميع الأحوال، تعادل المساحةُ الكليّةُ لتجميع الضوء مجموعَ مساحاتِ تجميعِ المقاريب الأربعة فقط. وباختصار، إنها، مثل المقاريب الفضائية، تزيد من ميْزها بتخلّيها عن الحساسية، ومن ثم فهي ليست بديلا عن مقرابٍ عملاقٍ مُقام على الأرض.

عَزَقَاتٌ ومسامير ملولبة[*]

لا ينمو الفيل مثل النملة. فازديادُ وزنِ مخلوقٍ يتناسب طرديا مع مكعب زيادة أبعاده الخطيّة، في حين يتناسب تزايد قدرة الهيكل العظمي على حمل ذلك الوزن طرديا مع المربع فقط لزيادة هذه الأبعاد، ومن ثم فالفيل بحاجة إلى سيقان أضخم كثيرا نسبيا. وما يصح في الثدييات الأرضية الكبيرة يصح أيضا في المقاريب. فجميع التقانات الضوئية المتقدمة في العالم لا تحظى بأي قيمة تقريبا إذا لم يكن هيكل المقراب قادرا على حمل وزنه. ومع أن الخبراء في علم الفلك الراديوي بنوا أطباقا قابلة للتوجيه تصل أقطارها إلى 100 متر، فإن المتطلبات الميكانيكية للمقاريب الضوئية أشد قساوة لأنها تعمل بأطوالٍ موجيّة أقصر كثيرا.

ويجب أن تكون صلابة هيكل المقراب كافية لإبقاء المرايا متراصفة تماما إحداها مع الأخرى ولمقاومة الاهتزازات التي تحدثها الرياح. وتميل المقاريب القليلة الارتفاع



مقراب قطر مرآته ثلاثون مترا (TMT)

القطر:	30 مترا
التكلفة التقديرية:	700 مليون دولار
التصميم:	مرآة أولية مكونة من عدة قطع
موقع الوب:	www.tmt.org

والعريضة إلى أن تكون أصلب من المقاريب المرتفعة النحيلة، لكنها تتطلب حَنْيَ الضوءِ ليتَّجه بدقة أعلى إلى البؤرة، وهذا يعقِّد تصميمَها الضوئيّ. لذا يجب على المهندسين أن يتوصلوا إلى توازنٍ بين المتطلبات الميكانيكية والضوئية. ولا يزال المقراب VLT يهتز إلى حد ما بفعل الرياح، لكن مرآته الثانوية تلغي آثار هذه الاهتزازات بحركتها بالاتجاه المعاكس نحو 70 مرّة في الثانية. وسيفعل المقراب OWL الشيء نفسه.

وثمة مشكلة محتملة أخرى هي أنه خلال تعقّب المقرابِ الأجرامَ السماوية ينزاح مركزُ ثقله، وهذا قد يؤدي إلى حَنْيِ الآلة والإخلالِ بتراصف المرايا. وتَستعملُ معظمُ المقاريبِ الضخمة بنيةً هيكليَّةً صمّمها المهندس <M. سيرورييه> لمقراب بالومار في الثلاثينات من القرن الماضي. وفي هذا التصميم، تُثبَّت كلُّ واحدة من المرايا بإطار مفتوح شبيه بالصندوق مكوّن من أربع دعامات مثلثة الشكل. وحين إمالتها، تنثني الأطر وتنزاحُ المرايا جانبيًا. بيد أنه لمّا كانت كلُّ مرآة مثبتة بإطارٍ من النمط نفسه، فكلتا المرآتين تنزاحان بالقدرِ نفسه، وهذا يبقيهما متراصفتيْن.

(*) Nuts and Bolts

(1) multiconjugate adaptive optics

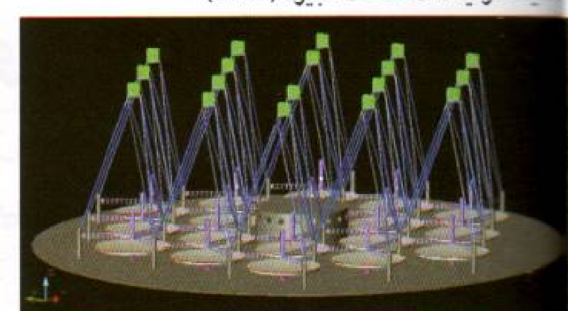
(2) انظر: "*Three-Star Performance*," by G.P. Collins, *Scientific American*, May 2000.

(3) interferometry

(4) انظر: "A *Sharper View of the Stars*," by A.R. Hajian - J. Th. Armstrong; *Scientific American*, March 2001.

مقاريب مقترحة أخرى[(*)]

...صفيف مرايا ذات فتحات كبيرة (LAMA)



...مترا [المساحة المكافئة لتجميع الضوء]، 54 مترا [الميز المكافئ]

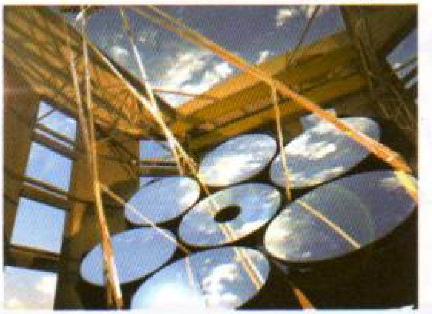
...مليون دولار

...مرآة من الزئبق السائل، ولكلٍّ منها شكلُ مجسَّم قطع مكافئ وقطر ...ه 10 أمتار، وجميعها موجَّهة إلى الأعلى.

www.astro.ubc.ca/L...

مقراب ماجلاّن العملاق (GMT)





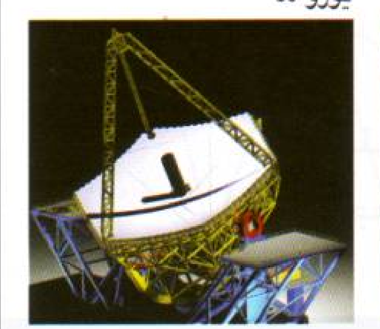
21.4 متر (المساحة)، 24.5 متر (الميز)

500 مليون دولار

سبع مرايا لها شكل مجسم قطع زائد، قطر كل منها 8.4 متر، ومحمولة على حمولة واحدة.

www.gmto.org

يورو 50



50 مترا

700 مليون دولار

مرآة أولية مكوَّنة من قطع لها شكل مجسم قطع ناقص

www.astro.lu.se/-torben/euro50

ويسلك تصميم المقراب OWL طريقة مشابهة، لكنه يتميز بإمكان بنائه من بضع مكوِّنات أساسية.

يقع الوزن الإجمالي لهيكل المقراب بين 10 000 طن و 15 000 طن، وهو يتوقف على الاختيار النهائي لمادة المرآة. وبغية المقارنة، نذكر أن وزن برج إيفل كان نحو 10 000 طن عندما اكتمل بناؤه. ومع أنه يبدو عملاقا، فهو أخف كثيرا نسبيا من مقاريب هذه الأيام. فلو كَبُرْتَ أحد المقاريب VLT الأربعة ليصبح بحجم OWL، لكان وزنه نصف مليون طن. ومع ذلك، فتحريك 10 000 طن بالدقة المطلوبة هو تَحَدٍّ في حدِّ ذاته. وتتضمن الخيارات التي يعكف المهندسون على دراستها حاليا عربات نقل منخفضة تشبه عربات القطار، تَسْتَعْمِلُ إدارات احتكاكيَّة[(1)] وطبقاتٍ رقيقة من الزيت يطفو عليها المقرابُ (كما هي الحال في وحدات VLT) وتعويما مغنطيسيا[(2)].

انتهاك القانون[(**)]

يترتب على ما سبق أن الفلكيين لم يفقدوا عقولهم عندما فكروا في بناء مقاريب تصل أقطارها إلى 100 متر. وفي حين كانت الزيادات في حجم المقراب تتطلب في الماضي قفزة في الظلام التقاني، فإن الزيادات في المستقبل ستستفيد من المعارف والخبرات الحاليّة.

والسؤال الرئيسيّ الآن هو التكلفة. تاريخيا، كان ثمن صناعة مقرابٍ يتناسب مع قطر مرآته الأساسية مرفوعا إلى القوة 2.6 ($D^{2.6}$)؛ لذا فإذا كانت تكلفة كلٍّ من المقاريب الأربعة VLT التي حجم كل منها ثمانية أمتار قرابة 100 مليون دولار، فإن ثمن المقراب الذي قطره 20 مترا يبلغ نحو بليون دولار - وهذا أكبر مبلغ يأمل أي شخص في جمعه لشراء مقراب جديد. أما تكلفة مقراب قطره 100 متر فمبلغٌ يُحْدِثُ الدُّوَارَ في الرؤوس: إنه 70 بليون دولار. وما دام قانون تكلفة المقاريب هذا ساريا، فيجب على الفلكيين التفكير مليا في بناء نُسَخ متعدِّدة لمقراب صغيرٍ لبلوغ الحجم المكافئ المنشود، وعندئذ تصبح التكلفة D^2. فببليون دولار يمكن شراء 10 مقاريب قطر كل منها 8.2 متر مساحتها تكافئ مساحة مقراب واحد قطره 26 مترا. ولسوء الحظ، فللأسباب المذكورة آنفا، لا يُعني التكافؤ في الحجم تكافؤا في القدرة. **فلصفيف** array المقاريب العادية حساسيَّةُ مقرابٍ قطره 26 مترا؛ لكنَّ مَيْزَها هو مَيْزُ مقرابٍ قطره 8.2 متر. ولهذا الصَّفيف، عندما يُستعمل **كمقياس تداخل** interferometer، مَيْزٌ أعلى، لكنْ حساسيَّة أخفض.

ولحسن الحظ، يعتقد المهندسون أن بمقدورهم انتهاك هذا القانون، وسبيلُهم إلى هذا إنتاج المكوِّنات بالجملة، وهذا يجعل تكلفة كلٍّ من المكونات تنخفض انخفاضا حادًّا. ويتطلب هذا بدوره مقاربة جديدة للآلات الضوئية. فبدلا من المرآة الأولية العادية التي لها شكل مجسم قطع زائد[(3)]، والتي توجب أن تكون كل قطعة منها مفصَّلة تبعا لموقعها فيها، يمكن أن يكون لمقراب قطره 100 متر مرآة كروية، لجميع قطعها شكل واحد. لذا يمكِّن خطُّ تجميع واحد من إنتاج جميع القطع التي عددها 3048 بمعدل قطعة كل يومين. لكن المشكلة هي أن الشكل الكروي يُحْدِثُ تشويها للضوء. وبغية تعويض ذلك، لا بد من تزويد المقراب بجهازٍ يسمى مصحِّحا[(4)]، يشبه ذاك الذي أصلح رؤية مقراب هَبل. ومع ذلك، يظل هذا النظامُ أرخصَ ثمنا.

وتمثل القبة إحدى النفقات الرئيسية لبناء أي مقراب. فلمقراب پالومار، مثلا، قبة حجمها قريبٌ من حجم قبة كاتدرائية القديس بطرس بروما، ولو أنها إلى حد ما لا تدانيها فنِّيا. وأحد أسباب كِبَرِ قبة پالومار هو أن قاعدة المقراب مائلة بغية توجيهه إلى النجم القطبي. وبهذه الطريقة تتمكَّن هذه الآلة من تعقُّب النجوم بسهولة، وذلك بمجرد تدوير المقراب حول

(*) Other Proposed Telescopes

(**) Breaking the Law

(١) friction drives، وهي وسائل إدارة تشتغل بواسطة قوى الاحتكاك التي تنشأ عند ضغط عجلة دوَّارة ضد عجلة ثانية.

(٢) magnetic levitation

(٣) hyperboloid

(٤) corrector

التتمة في الصفحة 53

المقالات





رؤية الطيور للألوان(*)

تتمتع الطيور بنظام لرؤية الألوان يفوق ذلك الموجود في جميع الثدييات بما فيها الإنسان.

<H. T. گولدسميث>



طائر البوقير **hornbill** الإفريقي الأرضي ***Bucorvus leadbeateri*** هو كغيره من الطيور، يرى العالم نسيجا غنيا بالألوان لا نكاد نتخيله. وللطيور هذه القدرة لأنها احتفظت بخلايا مخروطية تتعامل مع الألوان في العين فقدتها الثدييات قبل ملايين السنين.

لقد اعتدنا، نحن بني البشر، أن نفترض أن جهاز الرؤية لدينا يتربَّع فوق قمة من النجاح التطوري، فهو يمكننا من إدراك الكون في أبعاد ثلاثة، وأن نكشف الأشياء عبر مسافات بعيدة، وأن نتنقل هنا وهناك بأمان، وإننا لنستطيع أن نتعرف بدقة أفرادا آخرين، وأن نكشف عواطفهم من مجرد نظرات خاطفة إلى وجوههم. والحقيقة أننا حيوانات مبصرة نرى صعوبة في تخيل العوالم الحسية لمخلوقات لها قدرات تمتد إلى آفاق أخرى، فالخفاش الصائد في الليل ـ على سبيل المثال ـ يدرك وجود الحشرات الصغيرة بالإنصات لصدى ندائها العالي الحدة.

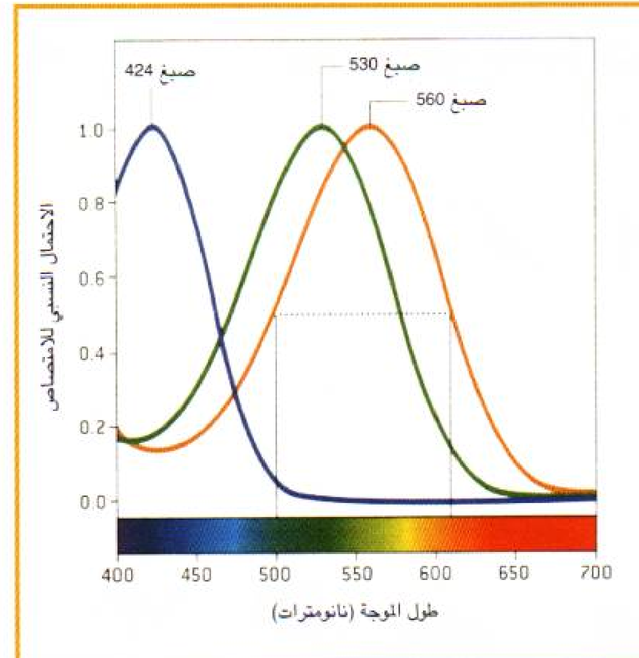
ومن الطبيعي أن تعتمد معرفتنا برؤية الألوان بشكل أولي

(*) WHAT BIRDS SEE

رؤية الإنسان للألوان(*)

يرى البشر وبعض الرئيسات الأخرى الألوان التي يرونها نتيجة تفاعلات بين ثلاثة طرز من خلايا المخاريط في شبكية العين. ويحتوي كل طراز من المخاريط على صبغ مختلف حساس لمدى محدد من أطوال الموجات الضوئية. والطرز الثلاثة من المخاريط تصل أقصى حساسية لها عند نحو 560 و 530 و 424 نانومترا.

وفي الشكل ينشأ الخطان الرفيعان الرأسيان عند الأطوال الموجية التي تُمتص بالتساوي بالصبغ 560. ومع ذلك فإن الفوتونات من الأشعة التي لها طول موجي 500 نانومتر (*باللون الأزرق المخضر*) لها طاقة أكبر من فوتونات الأشعة التي لها طول موجي 610 نانومترات (*باللون البرتقالي*)، يُحدث كلاهما الاستجابة نفسها من الصبغ، ومن ثم يُحْدِثان الاستثارة نفسها لخلية المخروط. وبناء على ذلك فإن خلية مخروطية واحدة لا تستطيع أن تبين للدماغ طول موجة الضوء الممتص. فلكي يتم تمييز طول موجة من أخرى يتعين على الدماغ مقارنة الإشارات الواردة من مخاريط لها أصباغ بصرية مختلفة.



على ما يراه البشر. ويستطيع الباحثون بسهولة تنفيذ تجارب على عدد من الأفراد المتعاونين لاكتشاف - مثلا - ما إذا كانت مخاليط من الألوان تبدو متماثلة أو مختلفة. ومع أن العلماء توصلوا إلى معلومات مؤيدة من مجموعة متباينة من أنواع أخرى بتسجيل قَدْح (تنشيط) firing الخلايا العصبية، فقد ظللنا لا نعلم حتى بداية السبعينات أن العديد من الفقاريات - ومعظمها حيوانات غير ثديية - يرى الألوان من خلال جزء من الطيف لا يراه البشر: وهو المافَوْسَجي (فوق البنفسجي)[1] القريب.

نظرة إجمالية/ حكاية تطور(**)

- **تعتمد رؤية الألوان في الفقاريات على خلايا المخاريط في الشبكية. لقد ثبت أن الطيور، وكذا العظايا (السحالي) والسلاحف والعديد من الأسماك، لها أربعة طرز من خلايا المخاريط، في حين أن لمعظم الثدييات طرازين فقط.**
- **كان لأسلاف الثدييات المجموعة الكاملة من المخاريط، ولكن خلال فترة من تطورها حينما كانت ليلية النشاط أساسا - وبذا لم تكن رؤية الألوان حاسمة لبقائها - فقدت الثدييات الباكرة طرازين من خلايا المخاريط.**
- **استعادت أسلاف مجموعة من رئيسات العالم القديم، تشمل الإنسان، طرازا ثالثا من المخاريط عن طريق حدوث طفرة لأحد طرز المخاريط الموجودة.**
- **لكن معظم الثدييات مازال لها طرازان فقط من المخاريط، وهذا يجعل رؤية الثدييات للألوان - حتى بالنسبة إلى الإنسان ومن ينتسبون إليه - محدودة بشكل واضح عند مقارنتها بعالم الرؤية عند الطيور.**

وقد بدأ اكتشاف الرؤية المافوسجية بدراسة الحشرات، وذلك مع حب استطلاع رجل إنكليزي مرموق هو السير <J. لوبوك> (لورد أفبوري Lord Avebury)، وهو صديق وجار لـ<Ch. داروين> وعضو في البرلمان وماليٌّ ومصرفيٌّ وعالم آثار وعالم في الطبيعيات؛ لقد اكتشف قبل عام 1882 بقليل أنه في وجود الضوء المافوسجي يقوم النمل بالتقاط العذارى (الخادرات) ويحملها إلى مناطق معتمة أو إلى مناطق تستضيء بضوء ذي موجات أطول؛ ثم مع بداية أواسط القرن العشرين أوضح عالم الطبيعيات النمساوي <K. فون فرش> وطلبته (وطلبة هؤلاء) أن النحل والنمل لا ترى الضوء المافوسجي كلونٍ محددٍ فحسب، بل إن هذه الحشرات تستخدم ضوء السماء المافوسجي كجزء من بوصلة سماوية.

ومعرفة أن حشرات كثيرة جدا تستشعر الضوء المافوسجي قد أدت باختصار إلى فكرة أن هذه المنطقة الطيفية تزود الحشرات بنطاق حسي خاص لا تستطيع مفترساتها من الطيور رؤيته. ولكن لا شيء يمكن أن يكون أبعد عن الحقيقة من ذلك. فالعمل على مدى 35 عاما مضت أوضح أن الطيور والعظايا (السحالي) والسلاحف والعديد من الأسماك لها مستقبلات مافوسجية في شبكيات عيونها. فلماذا - إذًا - تختلف الحال كثيرا في الثدييات؟ ما الذي جعلها تحوز رؤية لونية ضعيفة؟ إن البحث عن إجابات لهذا التساؤل كشف عن قصة تطورية ممتعة، أدت إلى رؤى جديدة للثراء غير العادي في عالم الرؤية عند الطيور.

(*) Human Color Vision
(**) Overview/ An Evolutionary Tale
(1) ultraviolet (UV)



ميزة الطيور(*)

عن طريق تحليل الدنا للأنواع المعاصرة، استطاع العلماء أن ينظروا إلى الزمن الذي مضى ويحددوا كيف تغيرت أصباغ المخاريط مع نشأة الفقاريات. فأوضحت دراساتهم أن الفقاريات الباكرة جدا كان لها أربعة طرز من المخاريط (*المثلثات الملونة*)، كل منها يحوي صبغا مختلفا. وقد فقدت الثدييات اثنين من هذه المخاريط خلال تطورها المبكر - على الأرجح - بسبب أن هذه الحيوانات كانت ليلية وأن المخاريط لا يُحتاج إليها للرؤية في الضوء الخافت. وعلى النقيض من ذلك، فإن الطيور ومعظم الزواحف احتفظت بأربعة أصباغ مخاريط مختلفة في أطيافها.

وبعد انقراض الديناصورات بدأت الثدييات بالتنوع، و«استعاد» الخط التطوري الذي أعطى رئيسات العالم القديم التي تعيش حاليا - مثل قردة إفريقيا والقردة العليا والإنسان - طرازا ثالثا من المخاريط خلال تضاعف تلته طفرة في جينة أحد الأصباغ الباقية. ولما كان البشر نشؤوا عن هذا الخيط التطوري للرئيسات فنحن لا نشبه معظم أقاربنا من الثدييات في كوننا نمتلك ثلاثة طرز من المخاريط (بدلا من اثنين) ورؤية لونية ثلاثية الألوان، وهذا يعتبر تحسنا، ولكنه لا يجاري بأية حال عالم الرؤية الأكثر رفاهة ودقة عند الطيور.

كيف نشأت رؤية الألوان(**)

تُفهم الاكتشافات على أفضل ما يكون إذا أدركنا بداية بعض التفاصيل الأساسية عن كيف يمكن لأي كائن استشعار اللون. أولا، هناك فهم خاطئ شائع يجب التخلي عنه. فكما يتعلم الكثير في المدرسة، صحيح أن الأشياء تمتص بعض الأطوال الموجية من الضوء وتعكس الباقي منها، وأن اللون الذي نستشعره للأشياء إنما يعتمد على الأطوال الموجية للضوء المنعكس. ولكن اللون ليس في الواقع خاصية للضوء أو للأشياء التي تعكسه. إنه إحساس ينشأ في الدماغ.

في الفقاريات تبدأ رؤية اللون في الخلايا المخروطية بالشبكية، وهي طبقة الخلايا العصبية التي تنقل إشارات الرؤية إلى الدماغ. ويحتوي كل مخروط على صِبْغ يتكون من إحدى صور البروتين أُبسين opsin مرتبط بجزيء صغير يعرف باسم **ريتينال** retinal يشبه كثيرا الڤيتامين A. وعندما يمتص الصبغ الضوء (أو بمعنى أدق يمتص حزما منفصلة من الطاقة تعرف باسم **فوتونات** photons)، تغير الطاقة المضافة شكل الريتينال، وتستحث فيضا من الأحداث الجزيئية يؤدي إلى استثارة الخلية المخروطية. وتؤدي هذه الاستثارة بدورها إلى تنشيط الخلايا العصبية للشبكية، حيث تطلق مجموعة منها سيالات عصبية في العصب البصري لتنقل المعلومات عن الضوء الذي استقبلته إلى الدماغ.

وكلما كان الضوء أشد قوة، امتصت الأصباغ البصرية فوتونات أكثر، وزادت استثارة كل مخروط، وظهر الضوء أكثر زَهْوا؛ ولكن المعلومات التي ينقلها كل مخروط على حدة محدودة، فالخلية بذاتها لا تستطيع إخبار الدماغ أي طول موجة ضوئية هو السبب في استثارتها. وهناك بعض أطوال موجات ضوئية تُمتص على نحو أفضل من غيرها، ويتميز كل صبغ بصري بطيف يوضح كيف يختلف الامتصاص باختلاف طول الموجة. وقد يقوم صبغ بصري بامتصاص طولين موجيين بقدر متساو، ولكن مع أن لفوتونات كل منهما قدرا مختلفا من الطاقة فإن المخروط لا يمكن أن ينبئ عن كل منهما بشكل منفرد، حيث إن كلا منهما يغير شكل الريتينال، وبذا

(*) The Avian Advantage

(**) How Color Vision Evolved



فلامنكو

في الحقيقة، اللون ليس خاصية للضوء أو للأجسام التي تعكس الضوء، إنه إحساس ينشأ داخل الدماغ.

فإنهما يستحثان نفس الفيض الجزيئي المؤدي إلى حدوث الاستثارة. وكل ما يستطيع المخروط فعله هو أن يَعُدَّ الفوتونات التي قام بامتصاصها، ولكنه لا يستطيع أن يميز طول موجة معينا من طول موجة أخرى، ومن ثم فإن المخروط يمكن أن يُستثار بضوء قوي عند طول موجة يُمتص بقدر ضئيل نسبيا، بنفس قدر استثارته بضوء خافت عند طول موجي يسهل امتصاصه.

والنتيجة المهمة التي يمكن التوصل إليها هنا هي أنه لكي يرى الدماغ الألوان عليه أن يقارن استجابات طرازين أو أكثر من المخاريط المحتوية على أصباغ بصرية متباينة؛ بل إن وجود أكثر من طرازين من المخاريط في الشبكية يسمح حتى بقدرة أعظم على رؤية ألوان مختلفة.

وقد أتاحت الأُبسينات[1] التي تميز مخروطا من آخر طريقة لدراسة تطور رؤية الألوان. ويستطيع الباحثون استنباط العلاقات التطورية للأُبسينات في الطرز المختلفة من المخاريط والمنتمية إلى أنواع مختلفة من الحيوانات، وذلك بفحص تتابع **قواعد النكليوتيدات** nucleotide bases (أو **حروف الدنا** DNA letters) في الجينات التي تُكوِّد لهذه البروتينات. وقد أوضحت أشجار النسب التطورية evolutionary trees الناتجة أن الأُبسينات بروتينات قديمة وُجدت قبل ظهور المجموعات الحيوانية السائدة التي تعمر الأرض هذه الأيام. ويمكننا تتبع أربعة مسارات لأصباغ مخاريط الفقاريات تُسمى من الناحية الوصفية بحسب المنطقة الطيفية التي تكون فيها أكثر حساسية: طول موجي طويل، طول موجي متوسط، طول موجي قصير، المافوسجي. وفي شبكية جميع المجموعات الرئيسية للفقاريات أعمدة، كما أن لها مخاريط. وتمكّن الأعمدة ـ التي تحتوي على الصبغ البصري **رودوبسن** rhodopsin من الرؤية في الضوء الخافت جدا. ويماثل الرودوبسن في كل من تركيبه وخصائصه الامتصاصية أصباغ المخاريط الأكثر حساسية للأطوال الموجية التي تقع عند منتصف طيف الرؤية، وهي كانت قد نشأت عن تلك الأصباغ قبل مئات ملايين السنين.

وللطيور أربعة أصباغ مخاريط تتميز أطياف بعضها من بعض، نشأ كل واحد منها عن أحد المسارات التطورية الأربعة. أما الثدييات فلها نموذجيا طرازان فقط من أصباغ المخاريط، أحدهما حساس للغاية للبنفسجي، والآخر حساس عند الأطوال الموجية الطويلة. والتفسير الأرجح لهذه القلة هو أنه خلال تطورها المبكر في حقب الحياة الوسطى (245 مليون إلى 65 مليون سنة مضت) كانت الثدييات صغيرة الحجم وتعيش في الخفاء وليلية النشاط. ولما كانت عيونها نشأت لتستفيد من الليل فقد أصبحت معتمدة بشكل متزايد على الحساسية العالية للأعمدة وأقل اعتمادا على رؤية الألوان. ومن ثم فقدت صبغين من أصباغ المخاريط الأربعة التي كانت أسلافها تمتلكها في وقت ما، وهي الأصباغ التي بقيت في معظم الزواحف والطيور.

إن انحسار الدينوصورات قبل 65 مليون سنة أعطى الثدييات فرصا جديدة للتخصص فبدأت بالتنوع، واتخذت إحدى المجموعات ـ وتشتمل على أسلاف البشر ورئيسات العالَم القديم الأخرى ـ حياة نهارية وانتشرت ما بين الأشجار وجعلت من الفواكه جزءا مهما من وجباتها. وكانت ألوان الزهور والفواكه غالبا مغايرة للأوراق النباتية الخضراء المحيطة بها، ولكن الثدييات ـ التي كان لها صبغ مخاريط واحد فقط حساس لأطوال الموجات الطويلة ـ لم تكن قادرة على رؤية التباين بين الألوان في مناطق الطيف الخضراء والصفراء والحمراء. وكان الحل أمام هذه الرئيسات موجودا في صندوق عُدة الوسائل التطورية.

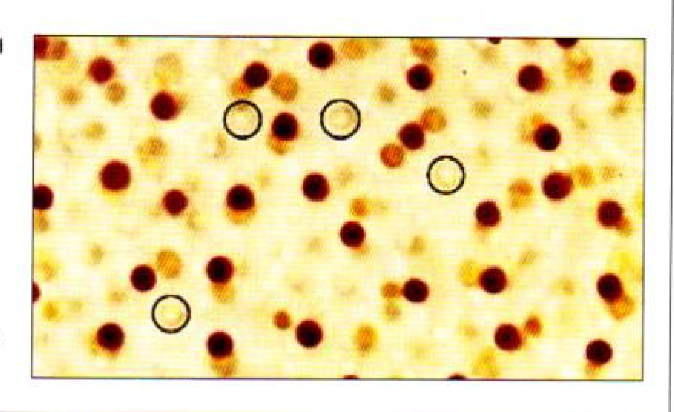
في الانقسامات الخلوية الخاصة بإنتاج البويضات و**النطاف** sperms قد يحدث مصادفة تبادل غير متساو لأجزاء من الصبغيات (الكروموسومات) يؤدي إلى إنتاج مشيج (جاميطة) به صبغي يحوي نسخة واحدة زائدة من جينة واحدة أو أكثر. فإذا حافظت الأجيال التالية على هذه الجينات الزائدة فإن الانتقاء (الانتخاب) الطبيعي قد يحفظ الطفرات النافعة التي تنشأ فيها. وكما أوضح <J. ناثان> و<D. هوكنس> [اللذان يعملان في جامعة ستانفورد]، فإن شيئا من ذلك حدث، خلال الـ40 مليون سنة الأخيرة، في نظام الرؤية عند أجدادنا رئيسات العالم القديم. إن التبادل غير المتساوي للدنا في خلية تناسلية، ثم حدوث طفرة للنسخة الزائدة من جينة لصبغ حساس لأطوال الموجات الطويلة، قد نتج منهما خلق صبغ ثان حساس لأطوال الموجات الطويلة، وهذا مثل نقلة في الطول الموجي لحساسيته القصوى. وعلى ذلك يختلف هذا المسار للرئيسات عن الثدييات الأخرى في حيازته ثلاثة أصباغ للمخاريط بدلا من اثنين ورؤية للألوان ثلاثية.

ومع كونه تحسنا جوهريا، لم يزودنا هذا النظام بالنظام الأمثل لرؤية الألوان. فمازال نظامنا هو ناتج عملية استرداد تطورية، ويظل

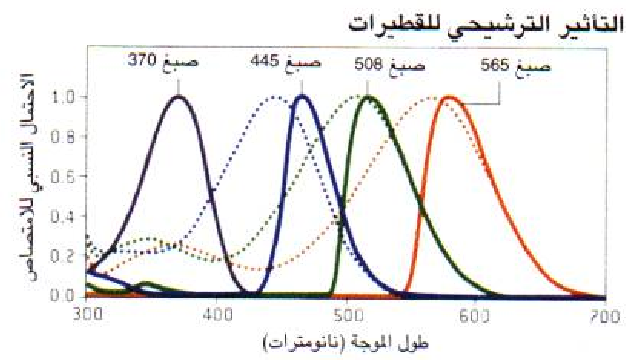
(1) ج: أُبسين opsin.

أهمية قطيرات زيت المخاريط(*)

احتفظت المخاريط في الطيور والعديد من الفقاريات الأخرى ببضع خصائص فُقدت من مخاريط الثدييات. وأهم هذه الخصائص بالنسبة إلى رؤية الألوان هو قطيرات الزيت. فمخاريط الطيور تحوي قطيرات حمراء وصفراء وأخرى عديمة اللون تقريبا وشفافة. والصورة المجهرية لشبكية القرقف الأمريكي (*في اليمين*) تكشف بوضوح القطيرات الصفراء والحمراء. وتحدد الحلقات السوداء عددا من القطيرات العديمة اللون. وجميع القطيرات، فيما عدا تلك الشفافة حقا، تعمل كمرشحات تزيل الضوء ذا الأطوال الموجية القصيرة. ويعمل تأثير الترشيح على تضييق الحساسية الطيفية لثلاثة من المخاريط الأربعة للطيور وينقلها إلى أطوال موجية أطول (*الرسم البياني*). وعن طريق الحد من أطوال الموجات التي تستجيب لها المخاريط تمكّن القطيرات الطيور من تمييز ألوان أكثر مما لو كانت تراه بوضوح من دون القطيرات. ويقوم الأوزون في طبقات الجو العليا بامتصاص الأطوال الموجية الأقصر من 300 نانومتر، وبهذا فإن الرؤية المافوسجية للطيور تشمل المافوسجي القريب فقط: في منطقة طول موجي بين 300 و 400 نانومتر.



التأثير الترشيحي للقطيرات



قاصرا بمقدار صبغ واحد عن **نظام الرؤية الرباعي الألوان** tetrachromatic visual system الموجود في الطيور والعديد من الزواحف والأسماك. ويعيق تراثنا الجيني أيضا البعض منا على نحو آخر، وذلك إن كلتا جينتينا المختصتين بالأصباغ الحساسة لأطوال الموجات الطويلة تقع على الصبغي X؛ ولما كان لدى الذكور صبغي X واحد فإن حدوث طفرات في أي من جينتي الأصباغ يجعل للذكر المصاب قدرة محدودة على التمييز بين الألوان الحمراء وتلك الخضراء. والإناث اللاتي يعانين هذا الطراز من عمى الألوان أقل شيوعا، ذلك أنه إذا تعطلت جينة للصبغ تقع على نسخة واحدة من الصبغي X فإنهن يظللن يستطعن بناء الصبغ الواقع تحت سيطرة الجينة السليمة على نسختهن الأخرى من الصبغي X.

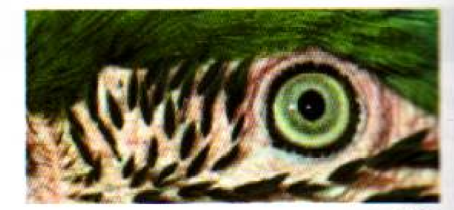
وليست أصباغ المخاريط هي العناصر الوحيدة التي فُقدت من الشبكية خلال التطور المبكر للثدييات. إن كل مخروط في طائر أو زاحف يحتوي على قُطيرة زيت ملونة، ولم تعد هذه القطيرات موجودة في مخاريط الثدييات. وهذه القطيرات ـ التي تحوي تركيزات عالية من جزيئات تعرف باسم **كاروتينويدات** carotenoids ـ تقع بحيث يمر الضوء خلالها قبيل وصوله إلى رصّة الأغشية في الجزء الخارجي من المخروط، حيث يوجد الصبغ البصري. وتعمل قطيرات الزيت كمرشحات تزيل أطوال الموجات القصيرة وتضيق من أطياف امتصاص الأصباغ البصرية. وهذا يقلل من تراكب أطياف الأصباغ بعضها فوق بعض ويزيد من عدد الألوان التي يستطيع الطائر ـ من ناحية المبدأ ـ أن يدركها.

اختبار رؤية الألوان عند الطيور(**)

إن وجود أربعة طرز من المخاريط التي تحتوي على «أصباغ بصرية» مختلفة يعني بالتأكيد أن للطيور قدرة على رؤية الألوان، إلا أن الإيضاح المباشر للقدرة على رؤية الألوان يحتاج إلى تجارب سلوكية تظهر الطيور بها أنها تستطيع تمييز الأشياء الملونة. وهذه التجارب يجب أيضا أن تستبعد العناصر الدالة الأخرى ـ مثل شدة الاستضاءة ـ التي قد تستخدمها الطيور. وعلى الرغم من قيام الباحثين بتطبيق تجارب من هذا الطراز على الطيور، فإنهم لم يبدؤوا باختبار دور المخاريط المافوسجية إلا في العقدين الماضيين. وقد عزمت وطالبي السابق <K .B> بتلر> على استخدام تقنية المضاهاة اللونية للكشف عن الكيفية التي تسهم بها المخاريط الأربعة عند الرؤية.

ولفهم كيف تعمل «المضاهاة اللونية»، ضَعْ في الاعتبار أولا رؤية الألوان الخاصة بنا. إن الضوء الأصفر يستثير طرازي مخاريط أطوال الموجات الطويلة في الإنسان. وإضافة إلى ذلك، بالإمكان أن نجد خليطا من الضوءين الأحمر والأخضر يستثير طرازي المخاريط نفسيهما بالقدر نفسه تماما، وسيدركه الشخص الناظر تماما كما يرى اللون الأصفر عند استخدام الضوء الأصفر النقي. وبكلمات أخرى، إن ضوءين مختلفين فيزيائيا قد يتضاهيان في اللون ـ وهذا يذكرنا بأن استشعار الضوء يحدث في الدماغ. إن أدمغتنا تستطيع تمييز الألوان في هذه المنطقة من الطيف بمقارنة نواتج المخروطين

(*) The Importance of Cone Oil Droplets
(**) Testing Color Vision in Birds


ماكاو

حتى السبعينات لم يدرك العلماء أن الكثير من الحيوانات ترى الألوان في جزء الطيف المافوسجي القريب.

الخاصين بأطوال الموجات الطويلة.

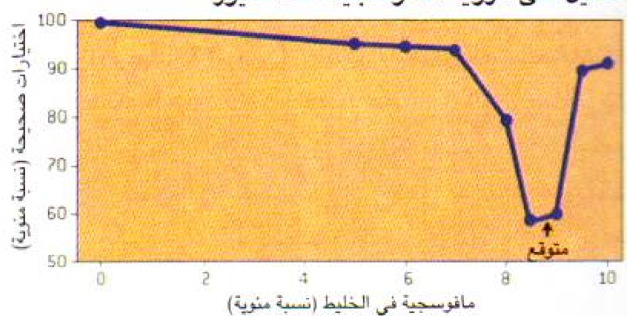
وبالاستعانة بمعرفة الخواص الطبيعية للمخاريط الأربعة وقطيرات الزيت استطعتُ و«بتلر» حساب مقدار خليط الأطوال الموجية الحمراء والخضراء الذي يعطي للطائر المظهر اللوني نفسه الناتج من طول الموجة الصفراء. ولما كانت الأصباغ البصرية للبشر والطيور غير متماثلة فإن هذا الخليط يختلف عن ذلك الذي نتوقعه من البشر فيما لو طلبنا إليهم المضاهاة اللونية نفسها. وإذا ما استجابت الطيور للضوء كما نتوقع نحن فإن هذه النتيجة ستؤكد قياساتنا عن الأصباغ البصرية وقطيرات الزيت وستتيح لنا الانطلاق نحو استكشاف ما إذا كانت المخاريط الحساسة للضوء المافوسجي تؤدي دورا في رؤية الألوان، وكيفية ذلك.

وقد تم تطبيق التجارب على ببغاوات أسترالية صغيرة تعرف باسم «الدرة» budgerigers (*Melopsittacus undulatus*). دربنا الطيور على الربط بين جائزة من الطعام والضوء الأصفر. وكان الطائر يجثم في موقع يرى منه مصدرين للإضاءة على بعد نحو ثلاث أقدام. أولهما كان ضوء التدريب الأصفر والآخر خليطا متنوعا من الأحمر والأخضر. وخلال الاختبار كان الطائر يطير إلى الضوء حيث توقَّع طعاما. فإذا ما ذهب إلى الضوء الأصفر ينفتح قمع صغير للبذور برهة حيث يحصل الطائر على وجبه سريعة. أما إذا ذهب الطائر إلى اللون الخطأ فإنه لم يكن يحصل على جائزة. وقد قمنا بتغيير الخليط الأحمر والأخضر في تتابع غير منتظم، كما غيرنا موقعي الضوءين حتى لا تستطيع الطيور الربط بين الطعام والجانب الأيمن أو الجانب الأيسر. وقد قمنا أيضا بتغيير شدة ضوء التدريب بحيث لا تستطيع الطيور توظيف شدة الإضاءة دليلا لها.

وعند استخدام معظم مخاليط الأحمر والأخضر كانت الطيور قادرة بيسر على اختيار ضوء التدريب الأصفر والحصول على جوائزها من الحبوب. ولكن عندما احتوى الخليط على نحو 90 في المئة من اللون الأحمر و10 في المئة من اللون الأخضر ـ وهي النسبة التي إذا حسبناها وجدناها تضاهي اللون الأصفر لضوء التدريب ـ أصبحت الطيور مشوشة واختياراتها غير صائبة.

وبإعادة التأكد من أننا نستطيع التنبؤ متى سوف ترى الطيور تَضاهي الألوان، بحثنا عن دلائل مماثلة لإظهار أن مخاريط الأشعة المافوسجية تسهم في الرؤية الرباعية الألوان للضوء. وفي هذه التجربة قمنا بتدريب الطيور على استقبال الطعام مع ضوء بنفسجي واستكشفنا قدرتها على تمييز طول الموجة هذا من خليط من طول الموجة الأزرق وشريط عريض من أطوال موجية قرب المافوسجية. وقد وجدنا أن الطيور تستطيع بوضوح تمييز الضوء البنفسجي من معظم المخاليط، بيد أن اختياراتها خضعت للمصادفة عند نسبة 92 في المئة أزرق و8 في المئة مافوسجيا، وهي النسب التي قمنا بحساب أنها تجعل لون الخليط لا يمكن تمييزه من ضوء التدريب البنفسجي. وهذه النتيجة تعني أن الأطوال الموجية للمافوسجية تُرى كألوان محددة بوساطة الطيور وأن مخاريط مافوسجية تسهم في نظام رؤية رباعي الألوان.

الدليل على الرؤية المافوسجية عند الطيور



هل الطيور ترى، حقيقةً، الأطوال الموجية المافوسجية؟ لقد أوضح المؤلف وزملاؤه في تجربة أنها فعلا تراها. فقد قام الباحثون بتدريب طيور الدرة الأسترالية parakeets على تمييز ضوء التدريب البنفسجي من الضوء المكوَّن من مخاليط من الأزرق والمافوسجي. أما عندما يكون الخليط مكونا من 8% فقط من المافوسجي فإنه يضاهي لون ضوء التدريب وترتكب الطيور أخطاء عديدة. وتهبط اختياراتها إلى محض المصادفة عند النقطة (*السهم*) التي حسب عندها المؤلف أن الألوان ستُضاهى على أساس قياسات الأصباغ البصرية وقطيرات الزيت في مخاريط الطيور.

فيما وراء الإدراك البشري(*)

وقد قدمت تجاربنا الدليل على أن الطيور تستخدم الطرز الأربعة من المخاريط جميعا في رؤيتها للألوان. ولكنه من الصعب ـ بل هو في الحقيقة من المستحيل ـ على الإنسان معرفة كيف يكون في الواقع إدراكها الحسي بالألوان. فهي لا ترى المافوسجي القريب فقط، بل إنها تستطيع أيضا رؤية ألوان لا نستطيع نحن حتى تخيلها. وللتشبيه ـ يمكننا القول إن رؤيتنا للألوان على أساس **ثلاثي الألوان** trichromatic يمكن تمثيلها بمثلث، في حين أن رؤيتها

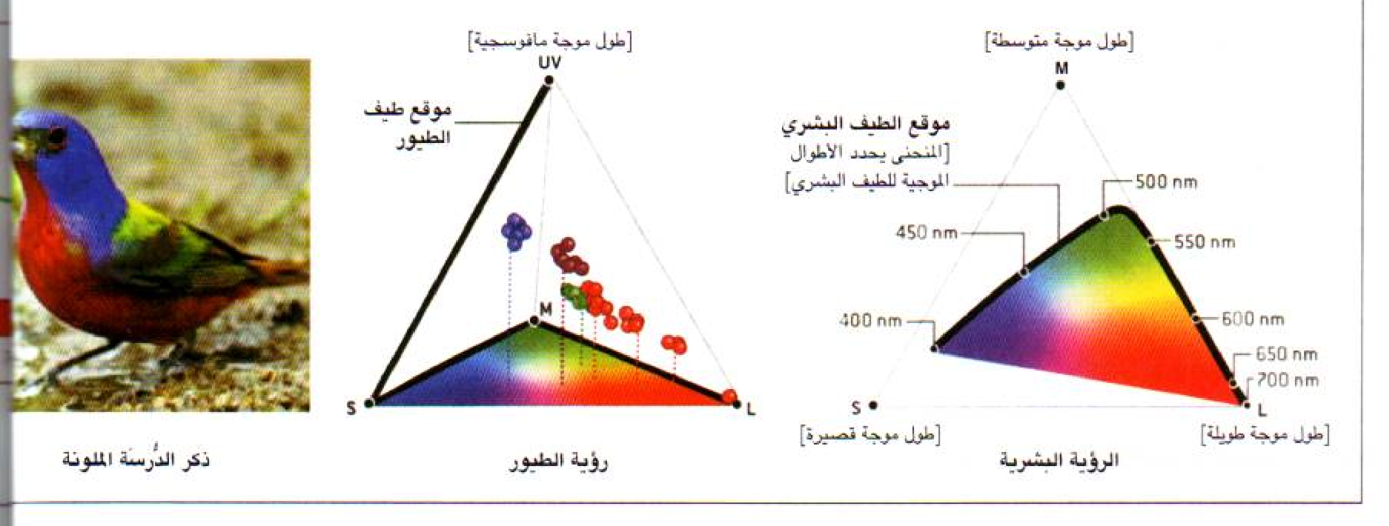
(*) Beyond Human Perception

نظرة واقعية مختلسة إلى عالم الرؤية للطيور(*)

يمكن رسم رؤية الألوان لدى البشر على شكل مثلث. إن جميع ألوان الطيف التي نستطيع نحن البشر أن نراها مُوَقَّعة على امتداد المنحنى الأسود الثقيل في داخل المثلث، وجميع الألوان العديدة الأخرى التي تكوَّن بخليط من الأضواء تقع أسفل هذا المنحنى.

ولكي نرسم خريطة لرؤية الألوان في طائر نحتاج إلى إضافة بُعْد آخر، والنتيجة تكون شكلا مجسما، رباعي الأوجه. إن جميع الألوان التي لا تنشّط مستقبلات مافوسجية تقع في قاع رباعي الأوجه، إلا أنه بسبب أن قطيرات الزيت للمخروط تزيد من عدد الألوان التي يستطيع أن يراها الطائر [*كما هو موضح في الإطار في الصفح*... *16*]، فإن موقع الطيف سيتبع حافات القاع المثلث وليس شكل زعنفة سمكة القر... لمثلث الرؤية البشري. وتقع الألوان التي تتوافق مع مستقبلات مافوسجية في الحي... فوق ذلك القاع. وعلى سبيل المثال يعكس الريش الأحمر والأخضر والأزرق لطا... **الدُّرْسة** الملونة bunting (*الصورة*) كميات متنوعة من الضوء المافوسجي، إضافة إ... الألوان التي نراها نحن البشر (*الرسم البياني*).

ولتوضيح الألوان التي تراها أنثى طائر الدرسة بيانيا عندما تنظر إلى شريكها علي...



الرؤية البشرية

رؤية الطيور

ذكر الدُّرسَة الملونة

للألوان على أساس رباعي التلوين تتطلب بعدا إضافيا ليعطي شكلا **رباعي الأوجه** tetrahedron أو **هرما مثلثيا** triangular pyramid. إن الحيز الواقع فوق أرضية الشكل الرباعي الأوجه يحتوي تنوعا من الألوان يقع أبعد من حدود الخبرة البشرية المباشرة.

كيف تستفيد الطيور من هذه الثروة من المعرفة بالألوان؟ في كثير من أنواع الطيور نجد الذكور أزهى ألوانا من الإناث، وبعد اكتشاف حساسيتها للضوء المافوسجي قام الباحثون بالبحث عن أدلة تشير إلى أن الألوان المافوسجية غير المرئية للإنسان قد تؤثر في اختيارات الزوج.

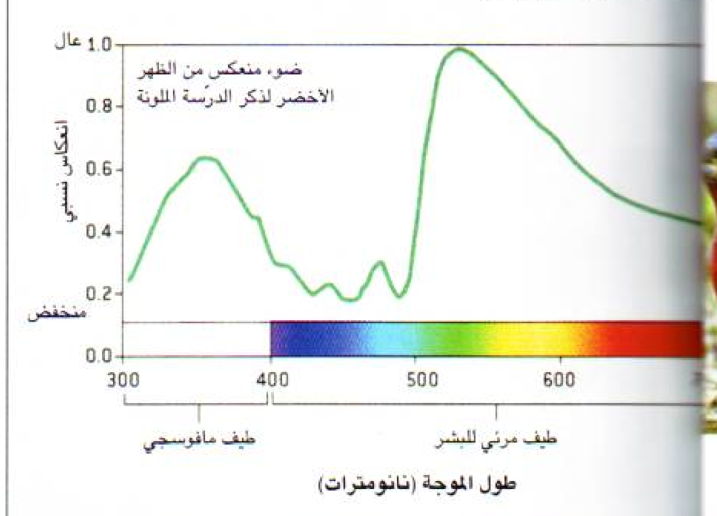
وفي أحد اتجاهات الأبحاث قام <M. إيتون> [وكان حينذاك في جامعة منيسوتا] بدراسة 193 نوعا من الطيور التي يبدو فيها الشقان الجنسيان متماثلين بالنسبة إلى الإنسان الفاحص، واعتمادا على قياسات أطوال موجات الضوء المنعكسة من الريش استنتج أن عين الطائر فيما يزيد على 90% من هذه الأنواع ترى فروقا بين الذكور والإناث لم يكن علماء الطيور قد تعرفوها من قبل.

وفي دراسة على ذكور 108 أنواع من الطيور الأسترالية قام بها <F. هوسمان> ومجموعة دولية من الزملاء، وجدوا أن الألوان ذات المكوِّن المافوسجي تزيد زيادة ذات دلالة إحصائية في الريش الذي يؤدي دورا في عروض الغَزَل، عما هي في الريش من أجزاء أخرى من الطائر. إضافة إلى ذلك، قامت مجموعات من الباحثين من إنكلترا والسويد وفرنسا بدراسة **القَرْقَف الأزرق** blue tit (Parus caeruleus)، وهو طائر أسيوي أوروبي من أقارب **قراقف** أمريكا الشمالية chickadees، **وطائر الزرزور** starling (Sturnus vulgaris). وأشارت النتائج إلى أن الإناث تنجذب في الواقع إلى الذكور التي ينعكس عنها ضوء مافوسجي زاهٍ بقدر أكبر. ولكن ما أهمية ذلك؟ إن انعكاس الضوء المافوسجي من ريش الطيور يعتمد على التركيب تحت المجهري للريش، وبذا يمكن استخدامه كدليل مفيد على صحة ذكور الطيور. وقد أوضح <A. كيسر> و<G. هِل> [من جامعة جورجيا، وجامعة أوبورن] أن ذكور الطيور **الضخمة المنقار الزرقاء** blue grosbeaks (Guiraca caerulea) التي لها الريش الأزهى والتي يميل لونها الأزرق إلى المافوسجي بدرجة أكبر، تكون أكبر حجما وتسيطر على الأراضي المحتوية على أكبر قدر من الفرائس وتطعم نسلها عدد مرات أكثر مما تفعل الذكور الأخرى.

وعلى نحو أعم، إن امتلاك مستقبلات للأشعة المافوسجية يزود الحيوان بميزة في البحث عن الغذاء. وقد أوضح <D. بوركارت> [من جامعة ريجنزبورگ في ألمانيا] أن السطح الشمعي لكثير من الفواكه والثمار يعكس ضوءا مافوسجيا ربما يعلن عن وجودها. وقد وجد <J. فايتالا> [من جامعة جيفاسكيلا في فنلندا] وزملاء له

(*) A Virtual Peek Into The Visual World of Birds

من الثلث المسطح إلى الحيز الثلاثي الأبعاد لرباعي الأوجه.
الألوان المنعكسة عن مناطق صغيرة من الريش تمثل بتجمعات من نقاط:
للصدر والزور (الرقبة) أحمر أدكن للعجز، أخضر للظهر، أزرق للرأس.
لا نستطيع استشعار هذه الألوان التي يراها الطائر، لأنه ليس هناك من
من يستطيع استشعار هذه الألوان). وكلما كان اللون مافوسجيا أكثر
النقاط أعلى فوق القعر. وهناك توزيع للنقاط داخل كل من هذه التجمعات، حيث
الموجية للضوء المنعكس تختلف داخل المناطق، مثل ما نراه نحن البشر
حمراء للصدر والزور.



أن صقورا صغيرة تعرف باسم **العواسق** kestrels قادرة على تحديد مواقع آثار قوارض الحقول عن طريق الإبصار. فهذه القوارض الصغيرة تطرح مواد ذات رائحة في بولها وبرازها ذُكر أنها تعكس ضوءا مافوسجيا يجعلها ظاهرة للعيان لمستقبلات المافوسجي في صقور العواسق وبخاصة في الربيع قبل أن تغطي النباتات دالاّت الرائحة.

وكثيرا ما سألني غير المعنيين بهذه النتائج المثيرة للاهتمام: ما فائدة الرؤية المافوسجية للطيور؟ ويبدو أن السؤال يعني أن الحساسية للمافوسجية يجب أن تكون مسألة خصوصية أو حتى مجرد صفة يجب على الطيور أن تحترم نفسها أن تكون قادرة على أن تعيش سعيدة من دونها. إننا منغلقون داخل عالَم من حواسنا إلى حد كبير؛ فعلى الرغم من إدراكنا معنى فَقْد الرؤية ونخشاه، فإننا لا نستطيع أن نستحضر في أذهاننا صورة عالَم مرئي أبعد من عالمنا. إنه مما يدعونا إلى التواضع أن نكشف أن الإتقان التطوري ما هو إلا سراب وأن العالم ليس تماما هو ما نتخيله نحن عندما نعايره من خلال عدسة اهتمامات الإنسان بذاته. ■

(*) Imagining a UV World

تَخَيُّلُ عالَم مافوسجي(*)

مع أنه لا يعلم أحد كيف يبدو العالم للطيور فإن الصور لأزهار **السوزانات السوداء الأعين** black-eyed Susans تقدم لمحة عن كيف يمكن أن تغير القدرة على رؤية ضوء مافوسجي من الصورة التي يبدو عليها العالَم. وبالنسبة إلينا فإن مركز الزهرة عبارة عن قرص قاتم صغير (*في اليسار*). ولكن كاميرة مجهزة للكشف عن الضوء المافوسجي فقط «ترى» أنماطا غير مرئية لنا، ويشمل ذلك حلقة دكناء أكبر (*في اليمين*). وقد أعد هذه الصور <D. A. هازي>، أستاذ التصوير وتقانة التصوير الفوتوكرافي في معهد روشستر للتقانة Rochester Institute of Technology.

المحررون





المؤلف

Timothy H. Goldsmith

أستاذ فخري في البيولوجيا الجزيئية والخلوية والتكوينية في جامعة ييل، وزميل في الأكاديمية الأمريكية للفنون والعلوم American Academy of Arts and Sciences. *وكان قد درس الإبصار في القشريات والحشرات والطيور على مدى خمسة عقود. وقد رعى الاهتمام بدراسة تطور كل من الإدراك المعرفي والسلوك عند الإنسان، وكان مغرما بالتفكير والكتابة مع علماء القانون، وذلك عن طريق صلته* ***بمعهد كروتر لأبحاث القانون والسلوك*** Cruter Institute for Law and Behavioral Research. *وقد قام <كولدسميث> قبل اثنتي عشرة سنة من اعتزاله بتدريس مقرر في العلوم الإنسانية والاجتماعية، وألّف بالاشتراك مع <W. زيمرمان> ـ كتابا بعنوان:* ***«البيولوجيا والتطور والطبيعة البشرية»*** *Biology, Evolution and Human Nature.*

مراجع للاستزادة

The Visual Ecology of Avian Photoreceptors. N. S. Hart in *Progress in Retinal and Eye Research,* Vol. 20, No. 5, pages 675–703; September 2001.

Ultraviolet Signals in Birds Are Special. Franziska Hausmann, Kathryn E. Arnold, N. Justin Marshall and Ian P. F. Owens in *Proceedings of the Royal Society B,* Vol. 270, No. 1510, pages 61–67; January 7, 2003.

Color Vision of the Budgerigar (Melopsittacus undulatus): Hue Matches, Tetrachromacy, and Intensity Discrimination. Timothy H. Goldsmith and Byron K. Butler in *Journal of Comparative Physiology A,* Vol. 191, No. 10, pages 933–951; October 2005.

Scientific American, July 2006

جينومات للجميع(*)

يمكن للجيل التالي من التقانات، الذي سيجعل قراءة **الدنا** *DNA* سريعة ورخيصة وسهلة المنال، أن ينقلنا، في أقل من عشر سنوات، إلى عصر الطب الملائم لكل شخص.

<G. M. تشرش>

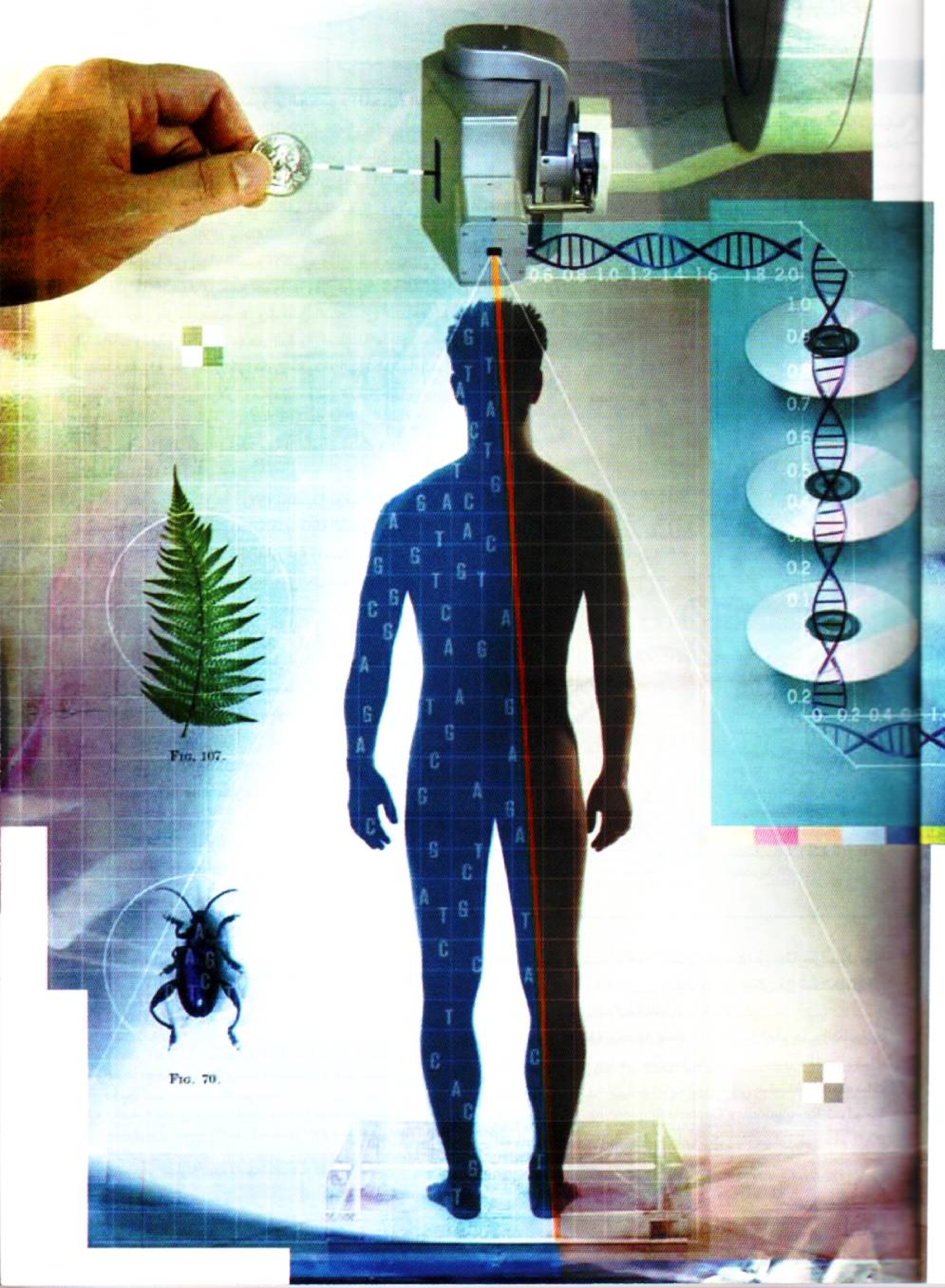


عندما انطلقت في عام 1993 **الوب (الشبكة العالمية الانتشار)** web، راجت وانتشرت بين ليلة وضحاها، خلافا لمعظم التقانات الجديدة التي تحتاج نمطيا إلى عشر سنوات على الأقل كي تنتقل من إثبات الفكرة إلى القبول الواسع. ولكن الشبكة لم تظهر حقيقة في غضون عام واحد؛ فقد اعتمدت على البنية التحتية بما في ذلك بناء الإنترنت ما بين عامي 1965 و 1993. كما اعتمدت على الإدراك المفاجئ بأن وسائل معينة، كالحواسيب الشخصية، قد تجاوزت العتبة الحرجة.

كما أن قوى التبصر والسوق تحث على تنامي التقانات الجديدة وانتشارها. فمثلا، بدأ برنامج الفضاء برؤية حكومية، وبعد انقضاء زمن طويل نسبيا، دفعت الاستعمالات العسكرية والمدنية للسواتل[1] إلى قابلية التسويق التجاري. وإذا ما تطلع أحدنا إلى الثورة التقانية التالية، التي يمكن أن تتمثل بالتقانة الحيوية، فسيمكنه تصور كيف ستتشكل الأسواق والرؤى والاكتشافات والاختراعات مخرجاتها، وكذلك تصور العتبات الحرجة في البنية التحتية والوسائل التي ستجعل ذلك ممكنا.

(*) GENOMES FOR ALL

(1) الأقمار الصنعية


0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0
Fig. 107.
Fig. 70.

لقد كنت في عامي 1984 و 1985 واحدا بين دزينة تقريبا من باحثين، اقترحوا **مشروع الجينوم (المجين) البشري** Human Genome Project (HGP)، كي نتمكن، لأول مرة، من قراءة كامل كتاب التعليمات من أجل تكوين إنسان والإبقاء عليه والمتضمنة داخل **دنانا** our DNA. وكان هدف المشروع إنتاج تسلسل كامل لجينوم بشري بتكلفة ثلاثة بلايين دولار أمريكي وذلك ما بين عامي 1990 و 2005.

لقد نجحنا في إنهاء القسم الأكثر سهولة، البالغ 93 في المئة، قبل الموعد المحدد ببضع سنوات، وفي توريث كم كبير من تقانات ومن طرائق مفيدة. وخفض التحسين المتنامي لهذه التقانات ولهذه الطرائق سعر السوق لسلسلة جينوم بشري، سلسلة دقيقة بما يكفي كي تكون مفيدة، إلى تكلفتها الحالية البالغة 20 مليون دولار. ومع ذلك، فإن هذا المعدل يعني أن السلسلة الجينية الواسعة النطاق لاتزال بصورة رئيسية مقتصرة على المراكز المخصصة للسلْسلَة وحكرا على مشاريع الأبحاث المكلفة.

لقد غدا «جينوم الألف دولار» تجسيدا لوعد مثلته المقدرة على سَلسلة الدنا: سلسلة أصبحت تكلفتها قابلة للتحمل لدرجة أن بوسع الأفراد أن ينظروا إلى فكرة الإنفاق مرة واحدة في العمر للحصول على كامل تسلسل الجينوم الشخصي لكل منهم بحيث يقرأ الطبيب هذا التسلسل على قرص يقارنه بتسلسل مرجعي، على أنها فكرة تستحق هذا الإنفاق. كما أن تِقانة السلْسلة الرخيصة ستجعل المعلومات الجينية ذات معنى أعمق، وذلك بمضاعفة عدد الباحثين القادرين على دراسة الجينومات، وعدد الجينومات التي يستطيعون مقارنة بعضها ببعض كي يستنتجوا الاختلافات بين الأفراد في كل من المرض والصحة.

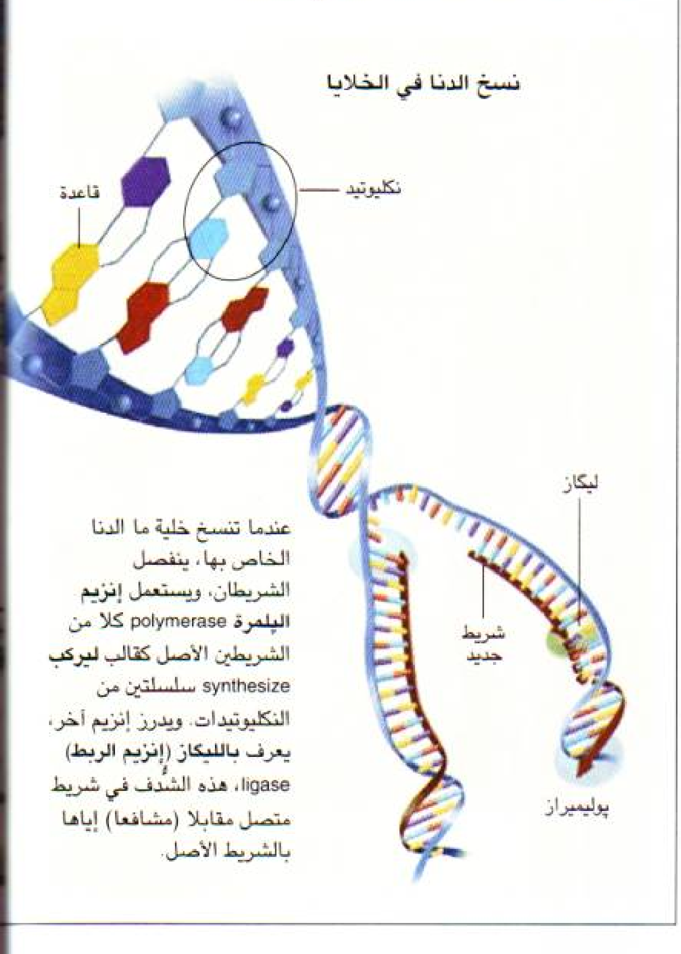
وتتخطى **جينوميات** genomics الإنسان البشر إلى بيئة مليئة بالمُمْرِضات و**المستأرجات** allergens والميكروبات (الأحياء الدقيقة) النافعة والموجودة في طعامنا وفي أجسامنا. ويُعنى كثير من الناس بخرائط مناخية، ولعلنا سنفيد في وقت ما من خرائط يومية للممرضات والمستأرجات. كما أن المجالات المتسارعة في نموها للتقانة النانوية، والتقانة الحيوية

نظرة إجمالية/ ثورات الدنا[*]

- يمكن للكمون الكلي full potential للتِّقانة أن يتحقق فقط عندما تكون أدواته، كتقانة قراءة الجينوم، رخيصة وسهلة المنال كالحواسيب الشخصية حاليا.
- تُخفِّض المقاربات الجديدة لقراءة الدنا التكاليف باختصار الخطوات التحضيرية، ونمنمة miniaturizing التجهيزات، وسَلسَلة ملايين الجزيئات سَلسَلة متزامنة.
- وسيطرح تحقيقُ الهدف المتمثل بسَلسَلة منخفضة التكلفة أسئلة جديدة حول الكيفية الأفضل لاستخدام المعلومات الجينية الشخصية الوافرة، وحول الجهة المخولة بهذا الاستخدام. ويُعَدُّ مشروع الجينوم الشخصي محاولة للبدء باستكشاف هذه القضايا.

قراءة الدنا[**]

إن كثيرا من تقانات حل (فك) كود الجينومات، يفيد من مبدأ التتامية في ترابط (تشافع) قواعد الدنا. وتحوي ألفباء الجينوم أربعة أحرف فقط: تشكل وحدات جوهرية تسمى القواعد، وهي: الأدنين [A] والسيتوزين [C] والگوانين [G] والتايمين [T]. يترابط بعضها مع بعض [A مع T، وG مع C]، لتشكل درجات السلم الكلاسيكي للدنا. إن الرسالة المكوَّدة في تسلسل القواعد على طول شريط[1] الدنا مكتوبة فعليا مرتين: ذلك أن تعرف هوية قاعدة في أحد الشريطين يكشف عن متممة القاعدة في الشريط الآخر. وتستعمل الخلايا الحية هذا المبدأ لتنسخ وتصلح جزيئات الدنا الخاصة بها [*في الأسفل*]، كما يمكن استثمارها لنسخ (*1* و *2*) ولوسم الدنا المعني، وذلك كما هي الحال في تقنية السَلْسَلة التي طورها <F. سانگر> في سبعينات القرن الماضي (*3* و *4*) والتي لاتزال تشكل أساس معظم السَلْسَلة التي تتم حاليا.



عندما تنسخ خلية ما الدنا الخاص بها، ينفصل الشريطان. ويستعمل **إنزيم البلمرة** polymerase كلا من الشريطين الأصل كقالب **ليركب** synthesize سلسلتين من النكليوتيدات. ويدرز إنزيم آخر، يعرف **بالليگاز (إنزيم الربط)** ligase، هذه الشُدف في شريط متصل مقابلا (مشافعا) إياها بالشريط الأصل.

الصناعية، قد تسرِّع هي الأخرى البحث عن مقاييس بيولوجية لمواد «ذكية» جديدة، وعن ميكروبات، يمكن أن تستعمل في التصنيع أو في المعالجة البيولوجية للتلوث.

وتبقى التكلفة وحدها العقبة الرئيسية أمام هذه التطبيقات وكثير غيرها، بما في ذلك ما علينا أن نتصوره للمستقبل. ويتحدى مشروعان **لتقانات ثورية في سلسلة الجينومات** Revolutionary Genome Sequencing Technologies تمولهما المعاهد الوطنية للصحة، العلماء كي يتوصلوا في عام 2009

(*) Overview/ DNA Revolutions

(**) Reading DNA

(١) أو طاق أو خيط.



إلى سَلْسَلَة جينومية للإنسان تكلفتها مئة ألف دولار، وفي عام 2014 بتكلفة ألف دولار فقط. كما أن هنالك إمكانا لإنشاء أسلوب؛ يمكن تحديده لاحقا، لمنح جائزة نقدية لأول فريق يحقق مثل هذه الاختراقات. إن هذه الأهداف قريبة فعلا. ويوضح مسح للمقاربات الجديدة في تطور طرائق قراءة الجينوم إمكان تحقق خروقات تقانية؛ يمكن أن تنتج جينوما بشريا بتكلفة قدرها عشرون ألف دولار، في خلال أربع سنوات من الآن. كما أن هذه الخروقات ستُلقي الضوء على بعض الاعتبارات التي ستنشأ حال نجاحها.

إعادة اكتشاف قراءة الجينات(*)

في أي طريقة من طرائق السَّلْسَلة، يمكن لحجم الدنا نفسه وتركيبه ووظيفته أن تشكل عائقا أو يمكن منابلتها كي تصبح ميزات. ويتألف الجينوم البشري من ثلاثة بلايين زوج (شفع) من

(*) Reinventing Gene Reading

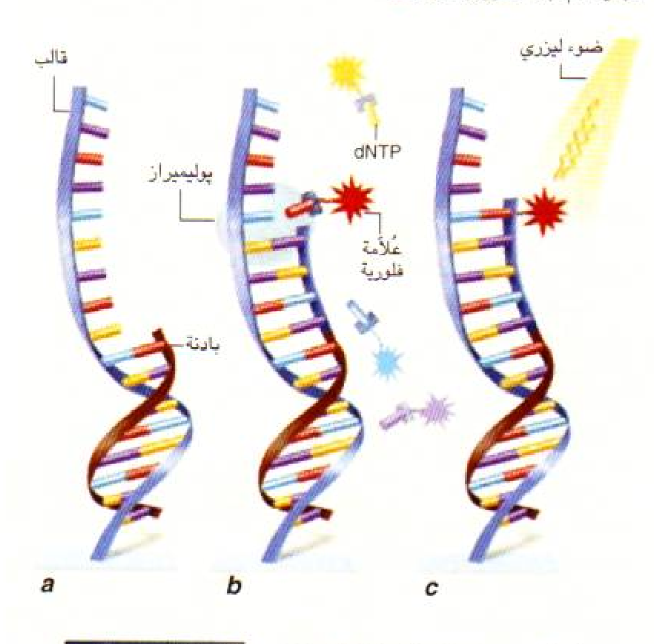
(1) هي شدفة الدنا التي لا بد من ارتباط نكليوتيداتها القليلة (8 نكليوتيدات تقريبا) بالقالب، كي يلتصق بها **بوليميراز (إنزيم بلمرة) الدنا** DNA polymerase، ويبدأ بتركيب الشريط أو الشُدفة المتممة للقالب؛ إنها تبدأ تنسّخ الدنا، أو تركيبه. (التحرير)

السَّلسلة بالتركيب[*]

يحاكي معظم تقانات السلسلة الجديدة أوجها من التركيب الطبيعي للدنا، وذلك بغية تعرف القواعد في شريط دنا معني، إما «**بإطالة القواعد**» base extension أو «**بالربط**» legation (*الأسفل*). وتعتمد كلتا المقاربتين على دورات متكررة من التفاعلات الكيميائية، ولكن التقانتين تخفضان تكاليف السلسلة، وتزيد السرعة بنمنمة التجهيزات لإنقاص كمية الكيميائيات المستعملة في الخطوات كلها، وبقراءة ملايين شدف الدنا قراءة متزامنة (*الصفحة المقابلة*).

إطالة الأسس

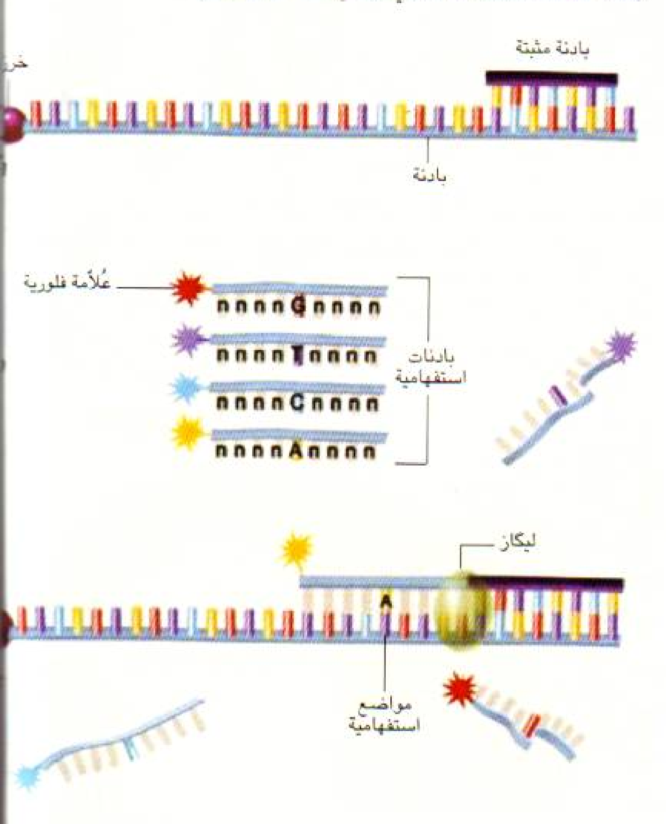
تثبت شُدَفة أحادية الشريط (تعرف بالقالب)، على سطح، بحيث تكون نقطة البدء لشريط متمم (يعرف بالبادئة)، مرتبط بإحدى نهايتي القالب (*a*). عندما تُعرَّض نكليوتيدات dNTPs موسومة فلوريا وإنزيم البوليميراز للقالب ستضاف قاعدة متممة للقالب إلى شريط البادئة (*b*). ويزال بعدئذ ما تبقى من البوليميراز والنكليوتيدات dNTPs، ثم يثير ضوء ليزري العُلاَّمة[1] الفلورية، كاشفا عن هوية النكليوتيد المتحد الجديد (*c*). وتنزع عندئذ العلامة الفلورية من النكليوتيد الجديد، ثم تبدأ السيرورة من جديد.



يستعمل كشف بيروفسفات **الضيائية الأحيائية** bioluminescence، عوضا عن **الفلورة** fluorescence، لتأشير حادثات إطالة القواعد. يتحرر جزيء من بيروفسفات عندما تُضاف قاعدة إلى الشريط المتمم، محدثا تفاعلا كيميائيا مع بروتين ضيائي أحياني، يُنتج وميضا ضوئيا.

الربط

تربط **بادئة مثبتة** anchor primer بقالب وحيد الشريط لتعيين بداية تسلسل مجهول (*a*). تُنشأ «**بادئات استفهامية**» query primers قصيرة موسومة فلوريا بدءا من دنا تنكسي باستثناء نكليوتيد واحد في **الموضع الاستفهامي** query position يحمل نمطا واحدا من أنماط القواعد الأربعة (*b*). يقوم اللِّيكاز (إنزيم الربط) بربط واحدة من البادئات بالبادئة المثبتة باتباع أسس تزاوج القواعد ليقابل القاعدة في الموضع الاستفهامي في الشريط القالب (*c*). وينتزع عندئذ **معقد البادئة الاستفهامية المثبتة** anchor-query primer complex وتعاد السيرورة من جديد إنما في موضع مختلف من القالب.



جزيئات النكليوتيدات. ويحوي كل نكليوتيد منها واحدا من أربعة أنماط من القواعد (الأسس)، تُختصر بالأحرف A و C و G و T؛ تمثل ألفباء الجينوم: مكوِّدة المعلومات المختزنة في الدنا. وترتبط القواعد نمطيا وفقا لمبادئ صارمة لتشكل الدرجات في بنية الدنا المماثلة للسلم. وبسبب قواعد الارتباط هذه، فإن قراءة تسلسل القواعد على طول أحد نصفي السلم، تكشف أيضا عن التسلسل المتمم على النصف الآخر.

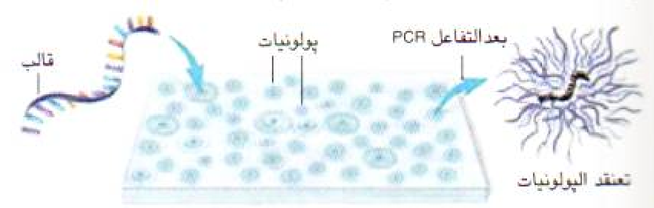
إن جينومنا، ذا الثلاثة بلايين قاعدة مقسم إلى ثلاثة وعشرين صبغيا (كروموزوما) منفصلة. ولدى الناس عادة مجموعتان كاملتان من هذه الصبغيات: واحدة من الأب والأخرى من الأم، تختلف إحداهما عن الأخرى بنسبة واحد في المئة. وهكذا، يمكن القول حقيقة إن الجينوم الشخصي لفرد ما، يحتوي على ستة بلايين زوج من القواعد. إن تعرُّف كل قاعدة من القواعد الأربع في مَدٍّ **(طول)** stretch من الجينوم، يتطلب **محسا (جهازا حساسا)** sensor يستطيع كشف الفروق بين أنماط القواعد الأربع، **بمقياس ما دون النانومتر** subnanometer-scale. ويُعتبر **المجهر النفقي الماسح** scanning tunneling microscopy إحدى الأدوات لطريقة فيزيائية

(*) Sequencing By Synthesis

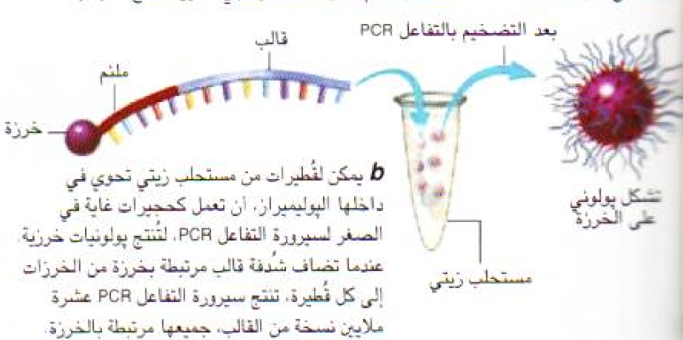
(1) أو ميسم أو سمة.

التضخيم

بالنظر إلى أنه يصعب الكشف عن الإشارة الضوئية الصادرة عن مجرد جزيء مفرد من الدنا، فإن تفاعلات إطالة القواعد أو تفاعلات الربط غالبا ما تُجرى على نحو متزامن على ملايين النسخ لشريط القالب نفسه. وتنطوي الطرائق اللاخلوية (a و b) لصُنع هذه النسخ، على إجراء سيرورة التفاعل PCR على مقياس منمنم.



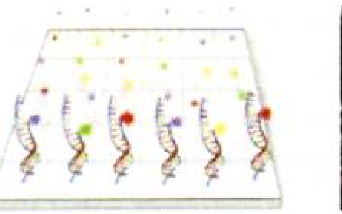
a بولونيات - مستعمرات إنزيم البوليميراز - تم إنشاؤها مباشرة على سطح شريحة مجهرية، أو سطح هلامة gel: يحوي كل منها بادئة بإمكان شُدفة القالب أن تعثر عليها وترتبط بها. تنتج سيرورة التفاعل PCR ضمن كل بولونية تعنقدًا يحوي ملايين نسخ القوالب.



b يمكن لقُطيرات من مستحلب زيتي تحوي في داخلها البوليميراز، أن تعمل كحجيرات غاية في الصغر لسيرورة التفاعل PCR، لتُنتج بولونيات خرزية. عندما تضاف شُدفة قالب مرتبطة بخرزة من الخرزات إلى كل قُطيرة، تنتج سيرورة التفاعل PCR عشرة ملايين نسخة من القالب، جميعها مرتبطة بالخرزة.

إنشاء المضاعفات

إن سلسَلة آلاف أو ملايين الشُدف القالبية على نحو متوازٍ، يزيد سرعة السلسَلة إلى الحد الأقصى. ويمكن في نظام إطالة قاعدة جزيء مفرد، وباستخدام كشف إشارة فلورية، مثلا، ... مئات الملايين من شُدف قوالب مختلفة على صفيفة مفردة (الشكل السفلي في اليسار). وفي طريقة أخرى، يتم تجميد ملايين البولونيات الخرزية على سطح هلامة خاصة، بغية السلسَلة المتزامنة بطريقة الربط، وبالإشارات الفلورية؛ تظهر في الصورة السفلية اليمنى، التي تمثل 0.01 في المئة من المساحة الكلية للشريحة المجهرية.



صفيفة جزيئية مفردة

بولونيات خرزية

يمكن بوساطتها أن نرى هذه البنى الفائقة الصغر، ونميز بعضها من بعض. ولكن قراءة ملايين أو بلايين القواعد، تعني قطعا أن على معظم تِقانات السلسَلة أن تعتمد في مرحلة ما على الكيمياء.

وصارت الطريقة، التي طورها <F. سانگر> في السبعينات، هي المتبعة على نطاق واسع في مشروع الجينوم البشري (HGP)، ولا تزال العنصر الأساسي لمعظم أعمال السلسَلة التي تُنجز حاليا. وتوصف التقنية أحيانا بأنها السلسلة بالفصل، وتتطلب دورات عديدة من التضاعف لإنتاج أعداد كبيرة من نُسخ من المدّ الجينومي موضع الاهتمام. وتنتج الدورة الأخيرة نسخة من شُدف متغايرة الأطوال تنتهي كل شدفة منها **بقاعدة موسومة فلوريا (تألقيا)** flourescently tagged base. وعند فصل تلك الشدف وفقا لأحجامها بسيرورة تُعرف بالرحلان الكهربائي، ثم قراءة الإشارة الفلورية لكل **عُلامة طرفية** terminal tag عند مرورها بوساطة منظار خاص، فإننا نحصل على تسلسل القواعد في **شريط** الدنا الأصلي strand [انظر الإطار في الصفحتين 22 و 23].

وتشكل الوثوقية والدقة ميزتين أساسيتين لسلسَلة <سانگر>. ومع أن تحسينات كثيرة أدخلت على التقنية عبر السنوات، فإنها تبقى مبددة للوقت ومكلفة. لذا، فإن معظم مقاربات السلسلة البديلة عن طريقة <سانگر>، تسعى إلى زيادة السرعة وتخفيض التكلفة، بحذف خطوات الفصل البطيئة ونمنمة المكونات لإنقاص حجوم الكيماويات، وإجراء التفاعلات بطريقة التوازي المفرطة التعدد؛ بحيث تُقرأ ملايين شدف التسلسل في وقت واحد.

وتقاربت مجموعات بحثية كثيرة على طرائق، كثيرا ما جمعت مع بعضها تحت عنوان السلسَلة **بالتركيب** synthesis، ذلك أنها تفيد من السيرورات العالية الدقة، التي تستعملها المنظومات الحية في نسخ جينوماتها وتصليحها. فمثلا، عندما تستعد خلية للانقسام، تنفصل قائمتا سلم جزيء الدنا إلى شريطيْن. وعندئذ يتحرك[1] إنزيم، يُعرف بالبوليميراز (إنزيم البلمرة) على طول الشريطين (الطاقين). وباستعماله الشريط الأصلي (القديم) **كقالب**[2] template، وباتباعه مبادئ تزاوج (تشافع) القواعد، فإن البوليميراز يحفز إضافة نكليوتيدات، ليشكل تسلسلات متممة. ويقوم إنزيم آخر، يعرف بالليگاز (إنزيم الربط) بوصل هذه القطع - لتتشكل أشرطة جديدة تكون متممة بالكامل للقوالب الأصلية.

وتحاكي طرائق السلسَلة بالتركيب أجزاء من هذه السيرورة، على شريط دنا مفرد موضع الاهتمام. فما إن تبدأ سيرورة إضافة القواعد عن طريق البوليميراز عند نقطة البدء الخاصة بالشريط المتمم الجديد - ويعرف **بالبادئة (المرئِّسة)** primer - أو ما إن يتم تعرف نقطة البدء هذه من قبل إنزيم الليگاز كشريط تزاوجي - تتامي - حتى يتم الكشف عن تسلسل القالب.

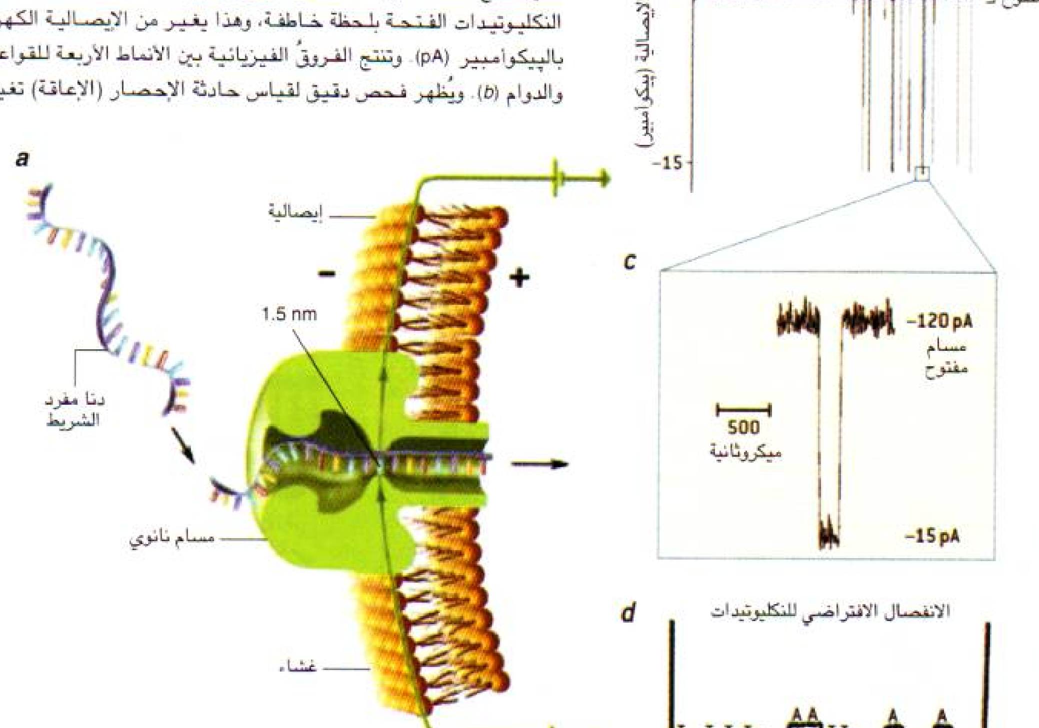
وغني عن البيان أن طرائق الكشف هذه تتفاوت بين المجموعات البحثية، ولكنها جميعها تستعمل بالتأكيد نمطا من نمطيْن إشاريين. فإذا ما تم ربط جزيء **فلوري** fluorescent بالقواعد المضافة، فإنه يمكن رؤية الإشارة اللونية بمجهر ضوئي. ويتم استعمال كشف **الفلورة** fluorescence في كل من سيرورتي **إطالة القواعد** base-extension **وسلسَلة الربط** ligation sequencing، من قبل مجموعات بحثية كثيرة، بما في ذلك <M. مزكر> وزملاؤه [في جامعة بيلور] و<R. ميترا> [في جامعة واشنطن بسانت لويس] ومن قبل

(١) ما يحدث فعلا أن الشريط - نظرا إلى ضآلة حجمه نسبة إلى الإنزيم - هو الذي يعبر نفقا في جزيء الإنزيم، ويتم التركيب.

(٢) هو شريط (أو شُدفة) الدنا، الذي يتم تركيب شريط (أو شُدفة) متمم له بالتقابل بوساطة إنزيم بوليميراز الدنا في الطور S من الدورة الخلوية، أو في المختبر. فهو يدل الإنزيم على التسلسل الذي يُعتزم بناؤه، ويرشده إلى وضع النكليوتيدات المتممة بالتقابل. (التحرير)

السَّلسَلة النانوية المسام(*)

يتم في هذه التّقنية، على غرار الرحلان الكهربائي، سحب الدنا باتجاه شحنة موجبة. ولكي يصل تلك النقطة، على الجزيء أن يعبر غشاءً من خلال مسام (ثقب)، يبلغ قطره الأضيق 1.5 نانومتر (nm)، سيسمح فقط لشريط دنا منفرد أن يمر عبره (a). وعند مرور شريط الدنا عبر المسام، تسد النكليوتيدات الفتحة بلحظة خاطفة، وهذا يغير من الإيصالية الكهربائية للغشاء، التي تقاس بالبيكوامبير (pA). وتنتج الفروقُ الفيزيائية بين الأنماط الأربعة للقواعد عوائق مختلفة الدرجات والدوام (b). ويُظهر فحص دقيق لقياس حادثة الإحصار (الإعاقة) تغيرا في الإيصالية عند مرور شريط طوله 150 نكليوتيدا لنمط واحد من القواعد عبر المسام (c). وبإدخال تحسينات على هذه الطريقة لرفع مَيْزها لقواعد منفردة، يمكن أن تنتج فصلا لتسلسل القواعد بعضها عن بعض ـ كما هو موضح في المثال الافتراضي المبين في الأسفل (d)، وهذا سيسفر عن تقنية سلسلة بوسعها أن تقرأ كامل الجينوم البشري في خلال 20 ساعة فقط، بمنأى عن خطوات النسخ والتفاعلات الكيميائية المُكلفة.



المختبر الخاص بي في كلية طب هارفرد، ومن قبل أجنكورت بيوساينس كوربوريشن Agencourt Bioscience Corporation.

وتستعمل طريقة بديلة **بروتينات ضيائية أحيائية** bioluminescent proteins، كإنزيم اللوسيفراز **للبراعة**(1) firefly، وذلك لكشف مركب بيروفسفات الذي يتحرر عند ارتباط قاعدة بشريط البادئة. ويستعمل هذا النظام، الذي طوره <M. روناگي> [ويعمل في جامعة ستانفورد] كل من شركتي بيروسيكونسينك/بيوتاگ و454 لايف ساينسز.

ويتطلب عادة كلا شكلي الكشف شواهد متعددة لتفاعل المزاوجة لكي يحدث في اللحظة ذاتها، كي يصدر إشارة على درجة من القوة بحيث يمكن رؤيتها، وبذلك يمكن اختبار كثير من نسخ التسلسل المعني على نحو متزامن. ولكن بعض الباحثين يعمل حاليا على طريقة، تُكشف بوساطتها إشارات فلورية، تصدر عن جزيء واحد فقط للشريط القالب. ويتبنى مقاربة الجزيء المفرد هذه كل من <S. كووك> [من معهد كاليفورنيا للتقانة] وعلماء في شركتي هيليكوس بيوساينسز ونانوفلوديكس، بهدف اقتصاد الوقت والتكلفة، وذلك باستبعاد الحاجة إلى صنع نسخ من القالب الذي ستتم سلسلته.

وينطوي كشف جزيئات فلورية مفردة على كثير من التحدي، لأن ما يقرب من خمسة في المئة يفقد خلال الكشف، ولابد عندئذ من أخذ «قراءات» أكثر لتلافي أخطاء الفجوات الناجمة عن هذا الإخفاق في الكشف. ولهذا السبب فإن معظم مجموعات البحث، يعمد أولا إلى نسخ، أو تضخيم، قالب الدنا المفرد المعني، بسيرورة تعرف **بتفاعل سلسلة البوليميراز** polymerase chain reaction (PCR). وبرز في هذه الخطوة أيضا تنوع من المقاربات، جعل أمر استعمال البكتيرات(2) لتوليد نسخ من الدنا غير ضروري.

ووفقا لطريقة تضخيم لاخلوية طورها <E. كاواشيما> [من معهد سيرونو لأبحاث الصيدلانيات في جنيف] و<A. شيتڤيرين> [من الأكاديمية الروسية للعلوم] و<ميترا> [عندما كان في هارفرد] يتم إنشاء **مستعمرات منفردة من البوليميراز** Individual colonies of polymerase (**بولونيات**(3) polonies) تُنشر طليقة كصُفيفات على سطح شريحة مجهرية، أو على سطح طبقة من **الهلامة** gel. ويُخضع جزيء قالب الدنا المفرد داخل كل بولونية للتفاعل PCR، وهذا يؤدي إلى إنتاج ملايين النسخ، التي تنمو في الواقع مثل مستعمرة بكتيرية، من القالب الأصلي المركزي. ولأن كل تجمع بولوني ناتج يكون عرضه

(*) Nanopore Sequencing

(1) البراعة: ليست ذبابا على الإطلاق، وإنما هي من الحشرات الغمدية الأجنحة التي تضم الخنافس والسوس [انظر: «كيف تضيء البراعات ولماذا؟»، العلوم، العددان 7/6 (2006)، ص 82].

(2) ومفردها بكتيرة.

(3) ومفردها بولونية.

(التحرير)

مشروع الجينوم الشخصي(*)

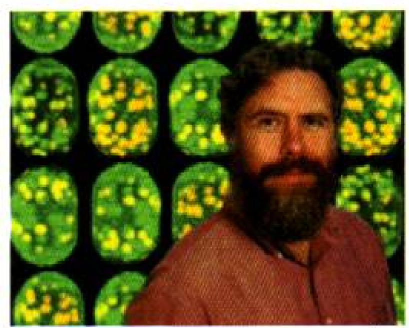
يختبر كل رضيع يولد حاليا في الولايات المتحدة لمرض وراثي واحد على الأقل، هو **بيلة الفنيل كيتون** phenylketonuria، وذلك قبل أن يغادر المستشفى. كما يختبر بعض المرضى بسرطان الرئة لتباينات في جينة رمزها EGFR لمعرفة فيما إذا كان من المحتمل أن يستجيبوا للعَقَّار إيريسا Iressa. ويتزايد استعمال الاختبارات الجينية، التي تشير إلى الكيفية التي سوف **يستقلب** metabolize بها المريض عقاقير أخرى، لتحديد الجرعة الدوائية. ويمكن التلميح فعلا إلى أن بدايات أدوية تلائم كل شخص ستغدو ممكنة بجينومات شخصية رخيصة، فضلا عن تزايد الحاجة إليها.

ونحتاج أيضا، بعد الاهتمامات الصحية، إلى أن نعرف سلسلة نسبنا. فكم نسبنا قريب من «جنكيز خان»، أو بعضنا من بعض؟ إننا نرغب في معرفة تأثرات الجينات مع جينات أخرى، ومع البيئة التي تُشكل وجوهنا وأجسامنا وأمزجتنا وميولنا. وستجعل آلاف أو ملايين مجموعات البيانات، التي تشمل كامل جينوم الفرد **وفينومه (طرازه المظهري)** phenome ـ الخلال التي تنتج من التعليمات المكوَّدة في الجينوم ـ من الممكن البدء بحل بعض تلك المسالك المعقدة.

ومع هذا، فإن احتمالات نجاح هذا النمط الجديد من المعلومات الشخصية، التي أضحت متاحة على حين غرة، تبعث أيضا على القلق إزاء كيفية سوء استعمالها المحتمل من قبل المؤمِّنين وأرباب العمل والقائمين على تنفيذ القانون بالقوة والأصدقاء والجيران وأصحاب المصالح التجارية والمجرمين.

لا يمكن لأحد أن يتنبأ بما سيكون عليه العيش في عصر الجينومات الشخصية حتى يوضع هذا كله موضع الاختبار. لهذا السبب بالذات، بادرت مع زملائي، حديثا، إلى طرح **مشروع الجينوم الشخصي** Personal Genome Project (PGP).

ونأمل بهذه الخطوة الطبيعية التالية **لمشروع الجينوم البشري** Human Genome Project (HGP)، أن نستكشف الفوائد والأخطار للجينومات الشخصية بتعبئة متطوعين لجعل البيانات



يُعدُّ «M .G. تشرش»، الذي يظهر هنا مع بولونيات فلورية، واحدا من مجموعة متطوعين يخططون لكشف جينوماتهم للفحص العلمي.

الجينومية والفينومية الخاصة بهم متاحة للجميع.

وستشمل هذه المواد تسلسلات كامل الجينوم (46 صبغيا) لكل متطوع، والسجلات الطبية الرقمية؛ إضافة إلى المعلومات التي يمكن أن تصبح يوما ما جزءا من السيرة الصحية الشخصية، كالبيانات الشاملة عن **الرنا** RNA والبروتينات ومقاييس الجسم والوجه **والتصوير بالرنين المغنطيسي** magnetic resonance imaging (MRI)، وأنماط التصوير الأخرى ذات الأهمية الحاسمة. وسنعمد أيضا إلى إنشاء وإيداع سلالات خلوية بشرية، تمثل كل شخص، في مستودع كوريل التابع **للمعهد الوطني للعلوم الطبية العامة** National institute of General Medical Sciences.

ونهدف أيضا إلى جعل جميع هذه المعلومات الخاصة بالجينومات والخلال سهلة المنال على نطاق واسع، ينقب فيها كل من يرغب ليختبر فرضياته وخوارزمياته (حساباته) الخاصة به، ولتكون مصدر إلهام له، يستنبط بوساطتها فرضيات وخوارزميات جديدة.

وتزودنا حادثة جديدة بمثال بسيط لما يمكن أن يحدث. إن سجلات طبية قليلة من المشروع PGP ـ بما في ذلك سجلي الشخصي ـ متاحة على نطاق واسع في نظام **على الخط** online على الإنترنت، وهذا دعا أحد المختصين بأمراض الدم في الجانب الآخر من الولايات (الأمريكية) أن يلاحظ ويبلغني أنه كان عليَّ منذ زمن بعيد إجراء اختبار متابعة لمداواتي للكولسترول. لقد أدت هذه المعلومة المفيدة إلى تعديل الجرعة والغذاء، ومن ثم إلى تخفيض درامي لنمط واحد على الأقل من المجازفة. ولن تكون هذه التجربة في المستقبل منوطة بموهبة تأتي عبر القارة (الأمريكية)، بل يمكن أن تولد صناعة جديدة، يقوم بها طرف ثالث، لأدوات برمجة جينومية.

ولقد حظي المشروع PGP بموافقة مجلس التقويم الداخلي لكلية هارڤرد. وكجميع الأفراد الذين تتناولهم الأبحاث على الإنسان، فإنه يجب توضيح الأخطار الكامنة للمشاركين قبل أن يوافقوا على توفير البيانات الخاصة بهم. وسيكون بوسع كل متطوع يُعبأ لبرنامج PGP أن يراجع أيضا التجارب الخاصة للأفراد السابقين قبل أن يعطي موافقة واعية. وستكون الطبيعة المكشوفة للبرنامج، بما في ذلك التعريف الكامل بالأفراد وبياناتهم، أقل خطرا على كل من الأفراد والبرنامج من الطبيعة البديلة التي تَعِد بالخصوصية والسرية، وتكون عرضة لمخاطر النشر العرضي للمعلومات، أو بإمكان الوصول إليها من قبل المتسللين.

ومثلما سياسة حرية الوصول المجانية للبيانات، التي أنتجها مشروع الجينوم البشري (HGP)، فإن مكشوفية المشروع PGP مصممة لزيادة كمون الاكتشاف إلى الحد الأعلى. وإضافة إلى توفيره موارد علمية جديدة، يقدم البرنامج تجربة لحرية الوصول العلنية ولتغطية التأمين. وسيساعد المانحون الخصوصيون في المراحل المبكرة للبرنامج على ضمان وجود مجموعة متنوعة من الأفراد، **تقف عائقا** أمام إمكان معاناتهم من تمييز وراثي نتيجة لاشتراكهم في البرنامج PGP. وتمتلك هذه الآلية، التي يحركها حب المرء لإخوانه في الإنسانية، حسنة أنها لا تحتاج في البداية إلى أن تكون ربحية. بيد أن شركات التأمين ستكون، مع ذلك، شديدة الاهتمام في نتيجة هذا المشروع.

يمكن العثور على تفاصيل المشروع PGP في الموقع: http://arep.med.harvard.edu/PGP/

ميكرونا واحدا وحجمه فمتولترا(٤) واحدا، فإن شريحة مجهرية مفردة، تستوعب على سطحها بلايين البولونيات.

وإجراء تغير في هذا النظام ينتج لأول مرة بولونية على خرزات غاية في الصغر، تتوضع داخل قطيرات ضمن مستحلب. ويمكن، بعد حدوث التفاعل، وضع ملايين من هذه الخرزات، التي تحمل كل منها نسخا من قالب مختلف، في **نُقَر** wells مستقلة في الشريحة، أو تثبيتها بوساطة هلامة، حيث تنجز السلسلة في الخرزات جميعها على نحو متزامن.

وليست هذه الطرائق لتضخيم القالب وللسلسلة **بإطالة القواعد** base extension أو **بالربط** ligation سوى أمثلة قليلة للمقاربات التي تتبناها دزينة من المجموعات والشركات البحثية الأكاديمية المختلفة **للسلسلة بالتركيب** squencing by synthesis.

كما أن تقنية أخرى، وهي السَّلسلة بالتهجين، تستعمل الفَلْورة

(*) The Personal Genome Project

(٤) الفمتولتر femtoliter: 10^{-15} لتر.

لتوليد إشارة مرئية، وتستثمر، كما هي الحال في تقنية السَّلسَلة بالربط، خاصة نزوع أشرطة الدنا إلى أن تترابط (تتشافع) أو إلى أن تتهجن مع التسلسلات المتممة لها وليس مع التسلسلات غير المترابطة. إن هذا النظام، الذي تستعمله الشركات أفيمتريكس وبيرلجن ساينسز Perlegen Sciences وإلومينا Illumina، والذي يبحث في المقام الأول عن التباينات في تسلسلات جينوم معروف، هو فعلا قيد الاستعمال التجاري الواسع الانتشار. ويتطلب هذا النظام تركيب أشرطة مفردة قصيرة من الدنا في كل تضامنية ممكنة لتسلسلات القواعد ثم تنظيمها (تصفيفها) على شريحة كبيرة. وعندما يمرر محلول يحوي نسخا من الشريط القالب ذي التسلسل المجهول عبر هذه **الصُّفيفة** array، فإن هذه النسخ ستترابط بالتسلسلات المتممة لها. ويُصدر أفضل **تزاوج (ترابط)** match الإشارة الفلورية الأكثر سطوعا. وتضيف الشركة إلومينا أيضا خطوة **إطالة القواعد** base extension لهذا الاختيار **لنوعية التهجين** hybridization specificity.

وتتناول تقنية أخيرة ذات واعدية مرموقة على المدى البعيد مقاربة مختلفة كليا لتعرّف أفراد القواعد في جزيء الدنا. وتركز هذه القواعد بكشف البيروفسفات في صَفيفة من النُّقر. وقرأت كل مجموعة من المجموعتين الكمية نفسها من التسلسل: أي 30 مليون زوج من القواعد، في كل **دورة** run سَلسَلة. وفي حين أن نظامنا قرأ نحو 400 زوج من القواعد في الثانية الواحدة، فإن نظام مجموعة 454 قرأ 1700 في الثانية. وتنطوي السلسلة عادة على أداء دورات متعددة لإنتاج تسلسل **توافقي** consensus أكثر دقة. وبتغطية قدرها 43 مرة (43 x)؛ أي 43 دورة لكل قاعدة للجينوم المستهدف، فإن المجموعة 454 أنجزت دقة قدرها خطأ واحد في كل 2500 زوج من القواعد. أما مجموعة هارفرد فتوصلت إلى أقل من خطأ واحد في كل ثلاثة ملايين زوج من القواعد، وبتغطية قدرها 7 x (سبع مرات). ولمناولة القوالب استعمل كلا الفريقين خرزات **أسرة** capture، انعكس حجمها على كمية الكواشف الغالية المستهلكة. وكان قطر الخرزة التي استعملتها مجموعتنا ميكرونا واحدا، في حين أن المجموعة 454 استعملت خرزات قطر الواحدة منها 28 ميكرونا؛ في نُقَر سعة كل منها 75 بيكولتر (75 x 10^{-12} لتر).

إن وسطي تكلفة أفضل طرائق السلسلة المتاحة والقائمة على

لدينا كثير من العمل وقليل من الوقت كي ترقى جاهزيتنا لمستوى الجينومات المنخفضة التكلفة.

الطرائق، التي جُمعت كلها تحت عنوان السَّلسَلة **النانوية المسام** nanopore، على الفروق الفيزيائية بين أنماط القواعد الأربعة، كي تنتج إشارة مقروءة. فعندما يمر شريط مفرد من الدنا عبر مسام قطره 1.5 نانومتر، فإنه يحدث تموجات في **الإيصالية الكهربائية** conductance للمسام. وينتج كل نمط من القواعد تغيرا طفيفا مختلفا في الإيصالية، يمكن استعماله لتعرّفه [*انظر الإطار في الصفحة 26*]. إن هذه الطريقة، التي ابتكرتها و<D. برانتون> [من هارفرد] و<D. ديمر> [من جامعة كاليفورنيا في سانتا كروز] لا تزال قيد التطوير من قبل الشركة أجيلانت تكنولوجيز Agilent Technologies وآخرين، حيث يتم إدخال تعديلات مهمة، مثل كشف إشارة التفلور.

تخفيض التكلفة(*)

إن تقويم أنظمة الجيل التالي للسلسلة هذه بمقارنة بعضها ببعض وبطريقة <سانگر>، يوضح بعض العوامل التي ستؤثر في مدى نفع كل منها. فمثلا، نشرت مؤخرا مجموعتان بحثيتان، الأولى مجموعتي في هارفرد والثانية من الشركة 454 لايف ساينسز، توصيفات مُحكَمة لمشاريع مقياس سلسلة الجينوم، تسمح بالمقارنات المباشرة.

فلقد وصفتُ مع زملائي سلسلة بنظام الربط، تستعمل تضخيم خرزات **پولونية** polony لدنا القالب، ومجهرا رقميا عاديا لقراءة إشارات التفلور. واستعملت مجموعة 454 تقنية مماثلة من التفاعل PCR في مستحلب الزيت للتضخيم، متبوعة بسَلسَلة إطالة الرحلان الكهربائي هو دولار واحد لكل 150 زوجا من القواعد في كل تسلسل منجز. ولم تنشر المجموعة 454 التكلفة على أساس المشروع، لكن فريق هارفرد أنجز تسلسلا بتكلفة دولار واحد لكل 1400 زوج من القواعد، وهذا يمثل تخفيضا في التكلفة قدره تسعة أمثال.

ويُتوقع قريبا جدا أن تخفّض هذه التقنيات الجديدة وغيرها تكلفة سَلسَلة البلايين الستة لأزواج القواعد لجينوم أي منا إلى مئة ألف دولار. وستتوقف محاولة تخفيض التكلفة إلى قيمة أقل في أي جيل تال من طرق السَّلسَلة على بضعة عوامل أساسية. وبالنظر إلى أن الأتمتة أضحت حاليا أمرا مألوفا في الأنظمة كافة، فإن الإنفاق الأكبر سيكون على الكواشف الكيميائية والتجهيزات. ولقد خفّضت **النمنمة** miniaturization فعلا استعمال الكواشف بالقياس إلى تفاعلات <سانگر> التقليدية بمقدار بليون ضعف: أي من ميكرولتر (10^{-6} لتر) إلى فمتولتر (10^{-15} لتر).

ويمكن لأجهزة تصوير تحليلية عديدة أن تجمع بيانات أولية بمعدلات تصل إلى بليون بايت (**جيكابايت** gigabyte) في الدقيقة الواحدة، ويمكن لحواسيب أن تعالج المعلومات بسرعة قدرها بلايين عديدة من العمليات في الثانية. لذا، فإن أي جهاز تصوير مقيد بسيرورات فيزيائية أو كيميائية بطيئة، كالرحلان الكهربائي أو التفاعل الإنزيمي، أو أي نظام غير مرزوم رزما محكما في الحيّز أو الزمن، ويحصي كل **خرزة** pixel من الخرزات، سيكون بالتوازي ذا تكلفة تشغيل عالية، لكل وحدة قاعدة دنا يتم تحديدها.

(*) Lowering Cost

ويتمثل اعتبار آخر في الحكم على تقانات السلسلة الناشئة بكيفية استعمالها. وتنزع الطرائق الجديدة إلى تبني قراءة تسلسلات قصيرة: يراوح طولها ما بين 5 و 400 زوج من القواعد مقارنة بطول 800 زوج من القواعد في القراءة النمطية في تقنية «سانگر». ولذلك تكون سلسلة قطع الدنا، ووضعها متتاليةً بعضها في إثر بعض لجينوم غير معروف مسبقا بدءا من لا شيء، أكثر صعوبة في التقانات الجديدة. ولكن إذا كان الطب هو المحرك الرئيسي لسَلْسلة واسعة النطاق، فعلينا عندئذ أن نعيد سلسلة الجينوم البشري للبحث عن اختلافات ضئيلة جدا في دنا الأفراد. ولن تمثل، والحالة هذه، قراءة أطوال التسلسلات القصيرة مشكلة تقنية.

وستكون أيضا متطلبات الدقة من وظائف التطبيقات. فقد تتطلب الاستعمالات التشخيصية تخفيضا لمعدلات الخطأ إلى ما دون المعيار الحالي الذي يستعمله مشروع الجينوم البشري HGP وهو 0.01 في المئة: لأن هذا المعيار مازال يتيح الفرصة لـ600 000 خطأ في كل جينوم بشري. ومن جهة أخرى فقد ثبت أن معدلا عاليا من الخطأ (4 في المئة) في **اعتيان** sampling عشوائي للجينوم يكون مفيدا في اكتشاف الأنماط المختلفة **للرنا** RNA وللنُّسُج، وفي تصنيفها. كما أن استراتيجية مماثلة «**قسرية**» shotgun تطبق في الاعتيان البيئي، حيث إن عددا ضئيلا مثل 20 زوجا من القواعد، يكفي لتعرف كائن حي في نظام بيئي.

إعلاء القيمة(*)

ولدينا، وراء تطوير هذه التِّقانات الجديدة للسَّلْسَلة، كثير من العمل لننجزه، في خلال فترة قصيرة من الوقت كي ترقى جاهزيتنا لحلول عصر قراءة الجينوم المنخفض التكلفة. وستكون هنالك حاجة إلى برمجيات لمعالجة معلومات التسلسل كي تصبح، على سبيل المثال، طيعة للأطباء. وسيحتاجون إلى طريقة، تُشتق بوساطتها قائمة بالأولوية ذات الطابع الفردي لكل مريض فيما يتعلق بالاختلافات الجينية العشرة الأولى، أو نحو ذلك، التي يرجح أن تكون مهمة. وسيكون جوهريا على حد سواء تقييم تأثيرات الإتاحة الواسعة النطاق لهذه التقانة لدى الناس.

لقد أقام المشروع HGP منذ استهلاله برنامجا بتكلفة عشرة ملايين دولار سنويا لدراسة القضايا الأخلاقية والقانونية والاجتماعية، التي ستطرحها سَلْسَلة الجينوم البشري، والتصدي لإشكالاتها. واتفق المشاركون في هذا المسعى على جعل بياناتنا جميعها متاحة علانية بسرعة غير مسبوقة ـ في خلال أسبوع من الاكتشاف، ووقفنا في وجه المحاولات التي تسعى إلى الاتجار بالطبيعة البشرية. ووُجِّه اهتمام خاص إلى حماية **الغُفلية**(1) anonymity لجينومات الناس (إن «الجينوم البشري» الذي قمنا بسَلْسَلته كان فسيفساء لصبغيات عدة أفراد من الناس). ولكن كثيرا من الأسئلة الرئيسية حقا لا يزال قائما، مثل الكيفية التي نضمن بها الخصوصية والعدالة في استعمال المعلومات الجينية الشخصية من قبل العلماء وشركات التأمين وأرباب العمل والمحاكم والمدارس ووكالات التبني والحكومة والأفراد الذين عليهم أن يتخذوا قرارات سريرية وإنجابية (توالدية).

وتحتاج هذه الأسئلة الصعبة والمهمة إلى أن تُبحث بصرامة مثل أوجه الاكتشافات التقانية والبيولوجية **للجينوميات** genomics البشرية. وبهذا القصد، استهللتُ مع زملائي **برنامجا جينوميا شخصيا** Personal Genome Project [*انظر الإطار في الصفحة 27*]، للبدء باستكشاف الأخطار الكامنة، ومزايا العيش في عصر الجينوميات الشخصية.

وعندما نستثمر في أسهم أو ملكيات ثابتة أو علاقات، فإننا ندرك سلفا أنه ما من شيء موثوق. ونفكر احتماليا في الأخطار مقابل القيمة، مدركين مسبقا أن الأسواق معقدة كالحياة. وتماما مثل ما أحدثته في التقانات الرقمية الشخصية من ثورات اقتصادية واجتماعية وعلمية، لم يكن لأحد أن يتصورها عندما استعملنا الحواسيب القليلة الأولى، علينا أن نتوقع ونهيئ أنفسنا لتغيرات مماثلة، وذلك في الوقت الذي نرتحل فيه إلى الأمام، منطلقين من جينوماتنا القليلة الأولى. ■

(*) Raising Value

(1) غفلا من الاسم (غير منسوب لفرد بعينه).

المؤلف

George M. Church

أستاذ الوراثيات في كلية طب هارفرد، ومدير مركز هارفرد-ليپر للوراثيات الحسابية التابع لمختبر التِّقانة الجينومية في وزارة الطاقة الأمريكية، ومراكز التميز لعلم الجينومات التابعة للمعاهد الوطنية للصحة. وتجسِّر أبحاثه وتُكامِل تقانات تحليل وتخليق الجزيئات الأحيائية والخلايا. يملك عشر براءات اختراع أمريكية، وقد عمل مرشدا علميا لأكثر من عشرين شركة.

مراجع للاستزادة

Advanced Sequencing Technologies: Methods and Goals. Jay Shendure, Robi D. Mitra, Chris Varma and George M. Church in *Nature Reviews Genetics*, Vol. 5, pages 335–344; May 2004.

How Sequencing Is Done. DOE Joint Genome Institute, U.S. Dept. of Energy, Office of Science, updated September 9, 2004. Available at **www.jgi.doe.gov/education/how/index.html**

NHGRI Seeks Next Generation of Sequencing Technologies. October 2004 news release available at **www.genome.gov/12513210**

Accurate Multiplex Polony Sequencing of an Evolved Bacterial Genome. Jay Shendure et al. in *Science*, Vol. 309, pages 1728–1732; September 9, 2005.

Genome Sequencing in Microfabricated High-Density Picolitre Reactors. Marcel Margulies et al. in *Nature*, Vol. 437, pages 376–380; September 15, 2005.

Scientific American, January 2006

نحو سيطرة أفضل على الألم(*)

إن التقدم في فهمنا للخلايا والجزيئات التي تنقل إشارات الألم في أجسادنا يسهم في تحقيق أهداف لأدوية جديدة يمكنها تسكين أنواع مختلفة من الألم، بما فيها تلك التي لا يمكن السيطرة عليها بالمعالجات المتوافرة حاليا.

<A. I. باسباوم> ـ <D. جوليُس>

يظهر الألم بطيف واسع من الأحاسيس البغيضة. فهناك الألم النابض والألم الداعي للحك والوجع الخفيف المستمر والألم الواخز والقارص والطارق والثاقب. إلاّ أن جميع أنواع الألم هذه تشترك بشيء واحد، وهو أن من يعانيه يتمنى بشغف زواله!

ومعظم مسكنات الألم التي تستخدم اليوم هي بالأساس علاجات شعبية بقيت تُستهلك خلال عدة قرون: فالمورفين morphine والأفيونات الأخرى تستخرج من **نبات الخشخاش** opium poppy، والأسپرين وبقية مضادات الالتهابات اللاستيرويدية (NSAIDs) مثل إيبوپروفين ibuprofen لا تجدي في بعض الآلام المعندة. وحتى الأفيونات التي تعتبر أقوى المسكنات، لا تفيد كل إنسان؛ كما أن لها مضاعفات جانبية مهمة، ومن شأنها رفع عتبة المرضى على احتمال الألم، وهذا يجعلهم يحتاجون إلى جرعات متزايدة للحصول على الراحة من أوجاعهم.

خلال العشرين سنة الماضية، تعلم إخصائيو العلوم الحيوية العصبية الكثير من الدراسات الخلوية والجزيئات المختصة التي تنقل إشارات الألم في جسم الإنسان. واليوم تستخدم هذه المعرفة لتكوين استراتيجيات جديدة لتدبير الألم بشكل أفضل وبآثار جانبية أقل. ويمكن القول إن الاتجاهات العلاجية التي تُستقصى الآن للسيطرة على الألم هي من الكثرة بحيث لا يمكننا الإحاطة بجميعها في هذه المقالة.

شرارات من نار(**)

في القرن السابع عشر أتى الفيلسوف الفرنسي <R. ديكارت> بنظرية لتفسير كيفية شعور الناس بالألم، فأي عقصة أو ضربة أو وخزة في رأيه تشد على حبل عصبي وظيفته أن يقرع جرس الإنذار بالألم في الدماغ. فإذا تصورنا أن قدما تعرضت للحرق مثلا، «انتقلت شرارات من نار بسرعة عبر الألياف العصبية لتصل إلى الدماغ.»

ولم يكن <ديكارت> بعيدا بُعدا كبيرا عن الصحة، فالألم عادة يبدأ في المحيط، من الجلد أو في أي عضو خارج الجهاز (الجملة) العصبي المركزي (CNS) [المؤلف من الدماغ والنخاع الشوكي]. فإذا تعرضت إصبع قدمك للرض مثلا أو إذا لمست بالخطأ مدفأةً ساخنة، تأثرت خلايا عصبية خاصة تدعى **مستقبلات الألم** nociceptors وظيفتها التفاعل مع المحرضات المؤلمة كالحرارة المرتفعة أو الضغط الميكانيكي أو المركبات الكيميائية الناتجة من أذية أو التهاب.

ولكل خلية من مستقبلات الألم هذه «ذراعان»: الذراع (أو الفرع) الأولى وظيفتها كشف الإحساس، وتمتد إلى محيط الجسم حيث تعصّب بقعا صغيرة من النسج، والذراع الأخرى تمتد إلى **النخاع (الحبل) الشوكي** spinal cord (*انظر الإطار في الصفحة 32*)؛ أما جسم **الخلية العصبية** neuron فيقبع في «عقدة عصبية» خارج العمود الفقري بين الفرعين (الذراعين). فإذا واجهتْ جزيئات كيميائية كاشفة على الفرع المحيطي عاملا مؤذيا في الجلد أو في أي عضو آخر، أحدثت موجة عصبية تسلك الفرع إلى الخلية العصبية في الوسط. ثم يعبر الفرع الآخر إلى منطقة في النخاع الشوكي تدعى **القرن الظهري** dorsal horn. وهناك تحرر الخلايا مستقبلات الألم جزيئات كيميائية أخرى مؤشرة تدعى **النواقل العصبية** neurotransmitters، وظيفتها تفعيل الخلايا العصبية في القرن الظهري، حيث تحثها على نقل رسالة التحذير هذه صعودا إلى الدماغ. ومع أن مستقبلات الألم كثيرا ما تُصَوَّر على أنها الخلايا العصبية المستشعرة للألم(1)، فوظيفتها لا تتعدى الإعلام بوجود منبهات أو مخرشات مؤذية، أما العضو الذي يترجم الإشارة على أنها ألم حقيقي ويجعلنا نصرخ «آخ» فهو في الواقع الدماغ.

ولا يمكن القول إن جميع أنواع الألم تدعو إلى القلق، فالألم الحاد الذي يرافق أذية نسيجية بسيطة مثل **الوثي** sprain أو **السحج** abrasion يعتبر وقائيا، لأنه يدعو المصاب إلى تفادي أذية أكبر. هذا النوع من الألم عادة ما يكون مؤقتا ويزول بعد فترة.

أما الألم الذي يسبب القلق والإزعاج للمرضى والأطباء فهو الألم الذي يبقى مستمرا ويعصى على المعالجة. وغالبا ما يكون سبب المشكلة استمرار الأذية أو الالتهاب الذي أحدث انزعاج المريض في الأساس؛ فأوجاع التهاب المفاصل مثلا

(*) TOWARD BETTER PAIN CONTROL
(**) Particles of Fire
(1) pain-sensing neurons

سببها استمرار عملية الالتهاب، وآلام السرطان المتقدم المعندة تحصل من تواصل تخرب النسج المصابة والتهابها.

وفي حالات أخرى ينتج الألم المستمر من تأذي الخلايا العصبية نفسها، مثلما يحصل عندما تتخرب خلايا الجهاز العصبي المركزي [الدماغ والنخاع الشوكي] بسبب **التصلب المتعدد** multiple sclerosis أو بسبب ضربة دماغية أو بسبب رض في النخاع الشوكي. كذلك يمكن حصول الألم المستمر من أذية الخلايا العصبية المحيطية، مثلما هي الحال في الذين يتعرضون لبتر في الحساسية قد تأخذ شكل ردود فعل مفرطة تجاه مصادر ألم عادية[1]، أو شكل تألم من عوامل غير ضارة عادة[2]. وفي الشكل الأخير يمكن حتى لاحتكاك الثياب العادي مع الجلد، أو ثني أحد المفاصل، أن يتسبب في آلام غير محتملة للمريض.

وقد أدرك علماء الأحياء اليوم أن هذه الحساسية المفرطة تنجم عن تغيرات عضوية في الخلايا العصبية على مستوى الجزيئات، ففي محيط الجسم مثلا قد تؤهب بعض الجزيئات المحرضة على الالتهاب في مستقبلات الألم الكاشفة للأذيات، قد تؤهبها

ومهما تكن الآلية المسؤولة، فقد أصبح معلوما أن الألم المستمر يمكن أن يؤدي إلى زيادة التحسس، ومن ثم إلى تفاقم الشعور بالألم وطول بقائه؛ لذلك صار موضوع تلطيف ردود الفعل المفرطة تجاه المنبهات من أهم ما يفكر فيه الإخصائيون وهم يبحثون عن علاجات مضادة للألم جديدة. وعلى المرضى في هذه الأثناء أن يدركوا أنهم غير ملزمين بتحمل الآلام المعندة، وأن يسعوا إلى معالجتها حثّيثا لدى الإخصائيين كي يتفادوا مشكلة فرط الحساسية.

على المرضى أن يدركوا أنهم غير ملزمين بتحمل الآلام المعندة وأن تلك الآلام يلزمها معالجة جذرية.

الساق ويعانون ما يسمى **ألم الطَّرف الشَّبَحي** phantom limb pain، أو الذين يشكون من آلام جلدية حارقة تبقى مستمرة عدة سنوات بعد انتهاء إصابتهم بنوبة من **عدوى (خمج) الحلأ** herpes infection. جميع هؤلاء يعانون آلاما ذات منشأ عصبي، وهنا لا يكون الألم المستمر كناية عن تواصل أذية أو مرض في أحد الأعضاء، إنما يكون علّة في الجهاز العصبي نفسه تستوجب عناية طبيب مختص بعلاج الألم.

آلام لا تنتهي(*)

ولعل المَخرج المشترك الأعظم لكثير من الآلام المعندة على المعالجة هو حساسية المريض غير الطبيعية للمنبهات. وهذه لأن تبالغ في التفاعل مع تلك المنبهات. بل قد تجعلها ترسل إشارات للدماغ من دون وجود أي مؤثر بيئي.

كذلك قد تنجم حساسية للمنبهات من تبدلات تحصل في الجهاز العصبي المركزي تولد فعالية مفرطة في الطرق العصبية الناقلة للألم. هذه التبدلات التي يمكن أن تستمر فترات طويلة، قد تشمل عرض أعداد متزايدة من المستقبلات التي تستجيب للنواقل العصبية التي تحررها مستقبلات الألم، وقد تشمل حتى إعادة صياغة الاتصالات العصبية، أو فقدان فعالية الخلايا العصبية التي عادة ما تكبح إشارات الألم. وعندما تحصل التبدلات المؤدية إلى فرط الحساسية في الجهاز العصبي المركزي ندعو الحالة «حساسية مركزية».

لنبدأ من الأول(***)

لقد توجه الإخصائيون في محاولاتهم اكتشاف أدوية جديدة مضادة للألم إلى المكان الذي تصدر عنه معظم الإشارات الألمية: محيط الجسم. فبعض الجزيئات المختصة التي تستخدمها مستقبلات الألم للكشف عن المنبهات المؤذية يندر أن توجد في غير هذه المناطق؛ لذلك إن تمكنا من إعاقة عمل هذه الجزيئات، أغلقنا الطريق على إشارات الألم من دون تعطيل عمل وظائف الجسم الفيزيولوجية الأخرى، أي من دون تسبيب مضاعفات جانبية غير حميدة.

ومعظم علاجات الألم الشائعة اليوم - كالأسپرين ومضادات الالتهاب اللاستيرويدية (NSAID) الأخرى - تؤدي وظيفتها السحرية في المحيط، فإذا أوذيت ناحية من محيط الجسم، ضخّت خلايا النسج المتأذية مركبات كيميائية تدعى پروستاگلاندينات prostaglandins، تعمل على خفض عتبة ردود الفعل عند فروع مستقبلات الألم التي تستشعر حس

نظرة إجمالية/ تخفيف الألم(**)

- **هناك خلايا عصبية مخصصة (تدعى مستقبلات الألم) تستجيب للمنبهات المؤذية. وهذه الخلايا تنقل رسالة الألم إلى خلايا عصبية أخرى في النخاع الشوكي، ترسل بدورها الإشارة إلى الدماغ.**
- **تمتلك مستقبلات الألم وخلايا عصبية أخرى في دارات الألم جزيئات خاصة للكشف عن المنبهات المسببة للألم، وهذه الجزيئات يمكن أن تستخدم أهدافا لعقاقير قيد التطوير مهمتها تخفيف الألم بآثار جانبية أقل من تلك التي تحصل من العقاقير المتوافرة حاليا.**

(*) Pain without End
(**) Overview/ Easing Pain
(***) Start at the Beginning
(1) hyperalagesia
(2) allodynia



الانزعاج. وما يفعله الأسپرين والمركبات NSAID هو كبت لفعّالية مجموعة من الإنزيمات تدعى **سايكلو أكسجينازات** cyclooxygenases تستخدمها الخلايا لتوليد البروستاگلاندينات. وهذه العقاقير التي تباع **من دون وصفة** over-the-counter تسكِّن أوجاع وآلام الكثيرين كل يوم، لكنها تثبط توليد البروستاگلاندينات في نواح أخرى من الجسم، وهذا يؤدي في كثير من الأحيان إلى آثار جانبية غير حميدة، مثل آلام المعدة والإسهالات والقرحة الهضمية. وهي مضاعفات كثيرا ما تمنع استخدام هذه العقاقير لفترات طويلة، كما تحد من حجم الجرعات التي تعطى منها.

ومن أجل تخفيف هذه المضاعفات الهضمية اختَرعت شركات الأدوية مجموعة من العقاقير التي تستهدف الإنزيم سايكلو أكسجيناز 2 (COX-2)، ولما كان هذا الإنزيم لا يعمل عادة في المعدة أو في المعى[1]، فإن تثبيطه من شأنه ألا يسبب الخلل الوظيفي الذي تسببه العقاقير NSAID الشائعة التداول، ولو أنه غير مثبت حتى الآن كونها ألطف من هذه الأخيرة على غشاء المعدة. إلا أن العقاقير الجديدة ثبت أن ثمة مشكلات خاصة بها، فالعقار روفيكوكسيب Rofecoxib المعروف تجاريا باسم ڤيوكس Vioxx ـ وهو من مثبطات الإنزيم COX-2 التي شاع وصفها لآلام التهاب المفاصل ـ سُحب من الأسواق عندما تبين أن استخدامه يترافق مع ازدياد احتمال حدوث السكتات القلبية والدماغية. وتدرس حاليا احتمالات الضرر في استعمال مثبطات أخرى للإنزيم COX-2.

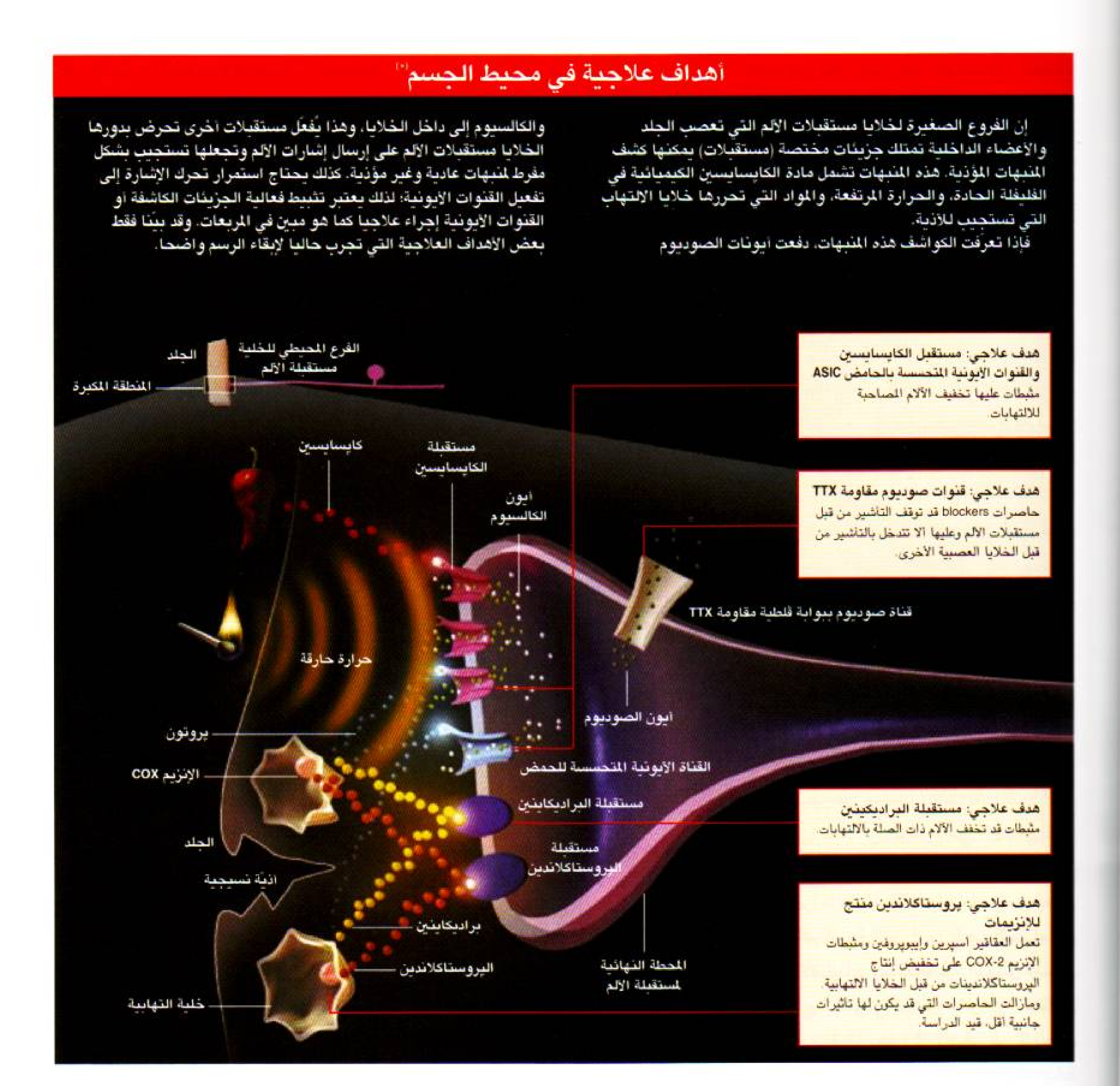
عليك بالأطعمة الحرّيفة(**)

لقد أدى اكتشاف أهداف علاجية توجد على مستقبلات الألم لوحدها، إلى تصنيع أدوية تعمل على إزالة الألم بشكل انتقائي. ولعل **مستقبلة الكاپسايسين** capsaicin هي الأكثر إثارة من بين هذه الأهداف: إذ إن هذه القناة الأيونية الموجودة في غشاء كثير من خلايا مستقبلات الألم لا تتجاوب فقط مع المادة كاپسايسين، وهي المادة الفعالة في الفليفلة الحارّة (الحادّة)، وإنما للحرارة الشديدة **وللپروتونات** protons، وهي أيونات (شوارد) الهدروجين التي تجعل المأكولات حامضة. ومن المعروف أن الپروتونات توجد في النسج الالتهابية بكثرة. فبحضور هذه المركبات الكيميائية أو بوجود حرارة مرتفعة فوق 43 درجة مئوية، تسمح هذه القناة بمرور أيونات الصوديوم والكالسيوم بكثرة عبر غشاء الخلية إلى مستقبلات الألم، وهذا يحفزها على توليد إشارة تترجم إلى حس بالحرق تسببه الحرارة أو الالتهاب أو الأطعمة الحرّيفة (الحادة المذاق).

لذلك من المتوقع أن المواد التي تكبح مستقبلات كاپسايسين من شأنها أن تُخمد ألم الالتهاب. وبالفعل ثبت في مختبر الحيوانات أن تلك المواد المضادّة يمكنها أن تُسكن الآلام الشديدة الناتجة من البيئة الحامضة التي تحيط بالأورام المتقدمة التي انتقلت إلى العظام وخربتها. ولا عجب إذًا أن شركات أدوية كثيرة تتنافس اليوم على اختراع مضادات لمستقبلات كاپسايسين.

ولا تقتصر معالجة المستقبلات على هذا الأمر، فقد تبين ـ مما يثير الدهشة ـ أن إثارة مستقبلات كاپسايسين عمدا بدلا من كبحها يمكن في بعض الحالات أن يخفف الألم، ولذلك أخذ الأطباء يصفون مراهم تحوي المادة كاپسايسين للراحة من آلام الحكاك، أو إحساسات اللسع التي ترافق التئام الجروح، أو تلف الأعصاب الناتج من داء السكري، أو الحلأ (الهربس) أو **عدوى الإيدز** HIV infection. ومع أن سبب الاستفادة من هذه المراهم غير واضح حتى الآن، فالتعرض الطويل لجرعات خفيفة من الكاپسايسين يمكن أن يثبط حساسية

(*) Feeling The Pain
(**) Send in the Salsa
(1) ج: أمعاء.



المستقبلات، ويجعلها أقل استجابة للمنبهات العادية، أو أنه يستنفد النواقل العصبية التي تُحررها الخلايا مستقبلات الألم.

لنعترض القنوات الأخرى(**)

وهناك نوع آخر من الجزيئات الموجودة على النهايات المحيطية للخلايا مستقبلات الألم أخذت تثير اهتمام الإخصائيين كهدف علاجي. فجميع الخلايا العصبية تحوي قنوات يعبر منها أيون الصوديوم، تفتح استجابة لتغيرات في **الفلطية** (القوة المحركة الكهربائية) voltage عبر غشاء الخلية، وهذا يولد نبضات تنقل رسائل بين خلية عصبية وأخرى مجاورة لها. وباستطاعة المخدرات الموضعية التي تُهمد الحركة عبر قنوات الصوديوم هذه مؤقتا أن تعالج أنواعا مختلفةً من الألم، وبخاصة تلك التي تحدث بعد مراجعة طبيب الأسنان. إلا أن هذه المخدرات يجب أن تطبق موضعيا في مكان الانزعاج (فتثبيط قنوات الصوديوم في سائر الجهاز العصبي قد يؤدي إلى الوفاة).

لكن الخلايا العصبية المختصة باستشعار الألم تحوي نوعا فرعيا من قنوات الصوديوم، يعرف بالنمط المقاوم TTX(1)، لا يوجد في الجهاز العصبي المركزي. ويأمل الباحثون لذلك أن يستطيعوا استخدام أدوية تعترض هذه القنوات الفرعية جهازيا (عن طريق الجسم كله) ومن دون مضاعفات تُذكر: ثم إنه وُجد من بعض الدراسات أن مثل هذه الأدوية بإمكانها إخماد الفعالية

(*) Drug Targets in The Periphery
(**) Block Other Channels
(1) TTX-resistant type

المفرطة وغير المستحبة للأعصاب المحيطية التي تعرضت للأذى، وبذلك يمكنها تلطيف الآلام ذات المنشأ العصبي. وللأسف، لم تستطع الصناعة الدوائية حتى الآن تطوير مثبطات انتقائية لمثل هذه القنوات الفرعية، ويردُّ ذلك جزئيا إلى أنها تشبه إلى حد كبير قنوات الصوديوم المستجيبة لـTTX والموجودة بكثرة في الجهاز العصبي كله.

إلا أنه يمكن إزالة هذه القنوات الفرعية انتقائيا بطريقة جديدة تدعى **التداخل بالرنا** RNA interference. وتعتمد هذه الطريقة على إدخال جزيئات دقيقة في كائن حي تدعى **جزيئات الرنا المتداخلة الصغيرة** small interfering RNAs (siRNAs). وهذه الجزيئات تمنع إنتاج أحد البروتينات غير المرغوب فيه،

قادرا على تخريب مستقبلة البراديكاينين bradykinin، وهو بروتين صغير (بپتيد) يُنتج عند التهاب أحد نسج المحيط، فمن المعروف أن البراديكاينين ينبه مستقبلات الألم بشدة، وإذا وجدت **ضادّة** antagonist تعيق عمل مستقبلاته، فلابد لها أن تحجب تلك المستقبلات من تفعيل الخلايا مستقبلات الألم.. إلا أن هذه الضادّة لن تمنع الخلايا العصبية من تعرّف جزيئات أخرى محرّضة للألم تولدها الأذية أو الالتهاب، ومن الاستجابة لها - جزيئات مثل البروتونات والپروستاگلاندينات، وبروتين آخر يدعى عامل نمو الأعصاب. كذلك قد لا نستطيع تلطيف الآلام التي تنقلها جميع البروتونات من إعاقة مستقبلات الكاپسايسين لوحدها،

يعترض نقل إشارات الألم لخلايا النخاع الشوكي العصبية. كذلك تجعل الأفيونات خلايا القرن الظهري (في النخاع الشوكي) أقل استجابة لإشارات الألم. ولأن هذه العقاقير تعمل على النخاع الشوكي يُتوقع نظريا أن تعالج جميع أنواع الألم، لكنها بالفعل تعطي أفضل النتائج في الآلام الناتجة من عمليات الالتهاب.

إلا أن هذه المستقبلات الأفيونية توجد - مع الأسف - على الخلايا العصبية في كل أنحاء الجسم، بما في ذلك الدماغ والجهاز الهضمي. وهذا الوجود المعمم هو سبب حصول أنواع عديدة من المضاعفات الجانبية عند استخدام الأفيونات، مثل الإمساك وإعاقة التنفس، وهذا يحدد

قد يستطيع الباحثون أن يطوروا علاجات نفسية أفضل لتغيير الإحساس بالألم.

بحثّ انحلال الجزيئات (الرناوات المرسالة)[1] التي تدير عملية تركيب البروتين. هذه الطريقة قيد الدراسة حاليا في الإنسان لعلاج بعض الحالات المرضية في شبكة العين، لكن الاستفادة من طريقة التداخل بالرنا في تصنيع أدوية تمنع الألم ستشكل تحديا صعبا للباحثين في الأغلب. فكما هي الحال بالمعالجة بالجينات، ستحتاج طريقة نقل جزيئات الرنا المتداخلة الصغيرة إلى استخدام ڤيروس (حمة راشحة)، وهذا مدعاة للقلق من ناحية السلامة. ولابد من الانتظار لمعرفة فيما إذا ستكون هذه الطريقة عملية في علاجها للألم، لكن إمكانية ذلك تبقى مثيرة للباحثين.

لنفترض أن شركات الأدوية استطاعت أن تطور علاجا سحريا للألم؛ أي مركبا يزيل فعالية أحد الجزيئات الناقلة للألم على الخلايا مستقبلات الألم على نحو فعال وانتقائي، فهل سيضمن هذا التداخل الراحة التامة من الآلام المعندة يا ترى؟ الجواب: ربما لا يفعل ذلك، لأن إغلاق مدخل واحد لطريق انتقال الشعور بالألم قد لا يكفي.

تصور - مثلا - أن هناك مركبا كيميائيا

لأنه في بعض الحالات الخاصة تُنشِّط البروتونات مجموعة مستقلة من **الكواشف** detectors الموجودة على الخلايا مستقبلات الألم، تدعى **القنوات الأيونية المتحسِّسة بالحامض** acid-sensing ion channels (ASICs).

لنركز على النخاع الشوكي[*]

قد يكون أحد حلول هذه المشكلة التي تبدو من دون نهاية، أن يُعطى مزيج من الجزيئات المثبِّطة التي تستهدف عدة آليات لاستشعار الألم فورا. إلا أن طريقا آخر هو أن نستهدف جزيئات تعمل مركزيا، لحجب إمكانية جميع الخلايا مستقبلات الألم على نقل إشارات الألم إلى خلايا النخاع الشوكي العصبية - مهما كانت أنواع المنبهات التي أثارت هذه الخلايا في الأصل.

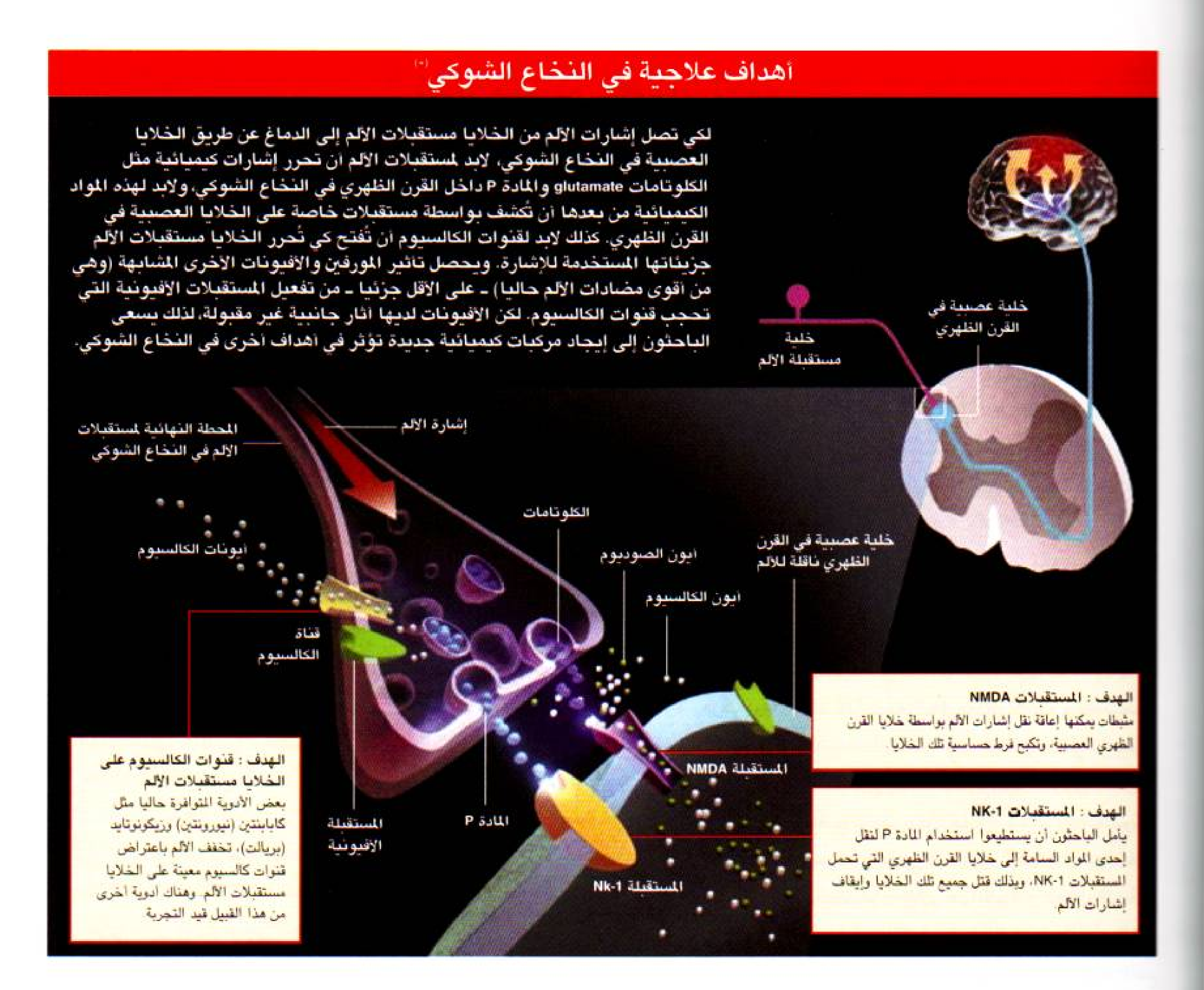
هذه الطريقة هي التي تعمل عند استخدام المورفين والأفيونات الأخرى، التي تترابط بالمستقبلات الأفيونية على نهايات الخلايا مستقبلات الألم المتصلة بالنخاع الشوكي؛ فبتفعيل المستقبلات الأفيونية هذه تمنع الأفيونات تَحَرُّر النواقل العصبية، مما

خيارات تلك العقاقير لدى الطبيب إذا أراد سلامة المريض. كما أن كثيرا من الأطباء لا يرغبون في وصف الأفيونات خوفا من الإدمان، علما أن الوقوع في الإدمان غير شائع عند من يتعاطون الأفيونات بهدف التخلص من الألم فقط. وللتخلص من بعض الآثار الجانبية كثيرا ما يلجأ الأطباء إلى حقن الأفيونات مباشرة في السائل المحيط بالنخاع الشوكي (داخل القراب). كما أن هذه العقاقير يمكن أن تحقن في العضل (للتخلص من الأوجاع التالية للعمليات الجراحية)، أو تدفع تدريجيا عن طريق مضخة وريدية (للتخلص من الآلام المزمنة).

ثم إن هناك بدائل للأفيونات. فالأدوية التي تعترض عمل قنوات الكالسيوم يمكن أن تمنع تحرر النواقل العصبية من نهايات الخلايا مستقبلات الألم في النخاع الشوكي. مثالان على ذلك هما دواء كاباپنتين Gabapentin (نيوروتين Neurotin) المضاد للاختلاج، الذي يُعتقد أنه يريح من أشكال من الألم بتفاعله مع وحدات فرعية لبعض

(*) Focus on the Cord

(1) أو الساعية messengers RNA.



قنوات الكالسيوم؛ ودواء جديد نوعا ما يدعى زيكونوتايد Ziconotide (بريالت Prialt) مستخرج من سم حلزون يعيش في المحيط الهادئ، يثبِّط نوعا مختلفا من قنوات الكالسيوم يدعى **النوع N** N-type.

وكما هي الحال في مستقبلات الأفيونات، توجد قنوات الكالسيوم من النوع N في جميع أنحاء الجهاز العصبي. فإذا أعطي زيكونوتايد جهازيا أدى ذلك إلى هبوط الضغط الشرياني هبوطا سريعا؛ لذلك يعطى هذا الدواء داخل القراب (في السائل المحيط بالنخاع الشوكي). ولكن مع أن هذا السم الحيواني يحجب الألم، فمفعوله داخل الجهاز العصبي المركزي يحدث آثارا جانبية غير مستحبة، كالدوخة والغثيان وآلام الرأس والتشوش الذهني، لذلك يعطى الزيكونوتايد خاصة للمصابين بمراحل متقدمة من السرطان الذين لا يستفيدون من أية وسيلة علاجية أخرى [انظر: «*ذيفان مسكن للألم*»، **العلوم**، العددان 4/3 (2006)، ص 72].

وتُطبّق تجارب سريرية مؤخرا على عقاقير تعمل على مستقبلات المواد الشبيهة بالحشيش والتي تنقل آثار **المرهوانة**[1] marijuana ـ والظاهر أن هذه المواد تخفف الألم بعدة طرق، منها اعتراض نقل الإشارات بين خلايا مستقبلات الألم والخلايا المستهدفة في النخاع الشوكي، ومنها إضعاف فعالية الخلايا الالتهابية.

لنغلق الفجوات(**)

يركز بعض الباحثين على منع خلايا النخاع الشوكي العصبية من الاستجابة للنواقل العصبية التي تحررها الخلايا مستقبلات الألم ـ وبخاصة الحمض الأميني **كلوتامات** glutamate amino acid الذي يعد الوسيلة الأساسية لنقل إشارة الألم. وينشط الكلوتامات مستقبلات مختلفة في القرن الظهري للنخاع الشوكي، وتشترك الزمرة NMDA (الزمرة النمداوية) من هذه المستقبلات في تحسس الألم المركزي، وهذا يجعلها هدفا معقولا للعقاقير الجديدة المضادة للألم.

ولما كانت كل خلية عصبية في الجسم تحوي نوعا أو آخر من المستقبلات NMDA، فإن تثبيط جميع هذه الأنواع مرة واحدة لابد أن يؤدي إلى آثار جانبية كارثية، مثل فقدان الذاكرة والاختلاجات المعممة والشلل. ولتلافي مثل ردود الفعل

(*) Drug Targets In The Spinal Cord
(**) Batten Down the Hatches
(1) أو المرجوانة.

تطوير محاربين يتصدون للآلام(*)

ندرج في هذا الجدول بعض المركبات المضادة للألم التي تعمل بآليات جديدة والتي تجرب حاليا على الإنسان، وقد حذفنا منها لذلك الأصناف الجديدة من الزمر الصيدلانية المعروفة والمجربة كالأفيونات وحاصرات الإنزيمات COX. ومن المعروف أن التجارب البشرية تطبق على مراحل متدرجة في التطور، ففي المرحلة I (الأولى) يكون التركيز على سلامة العلاج، وتشمل المرحلة II أولى التجارب التي تهدف إلى إثبات فعالية العلاج؛ أما المرحلة III فتختص بتجارب أوسع وأشمل.

المركب (الشركة الصانعة)	طريقة العمل	مرحلة التجريب	الشركات التي تدرس مركبات مشابهة
(Amgen) AMG-517	يحجب مستقبلة الكابسايسين	I	GlaxoSmithKline, Neurogen
(Evotec) EVT-101	يحجب المستقبلات NMDA التي تحمل الوحدة الجزئية NR2B	I	Roche, Merck & Co.
(Sanofi-Aventis) Icatibant	يحجب مستقبلة البراديكاينين	II	Merck & Co.
(NeurogesX) NGX- 4010	ينبه (تنبيها مفرطا) مستقبلة الكابسايسين	III	
(Neuromed Pharmaceutials) NMED-160	يغلق قنوات الكالسيوم من النوع N	II	
(Newron Ph) Ralfinamide	يغلق قنوات الصوديوم	II	
(Rinat Neuroscience) RN624	يمنع عامل النمو العصبي من تنبيه مستقبلات الألم	II	Amgen
(Novartis) SAB- 378	يفعّل مستقبلة المواد الشبيهة بالحشيش	II	GW Ph., GlaxoSmithKline

هذه، يحاول الباحثون اليوم تقييد هذه المستقبلات بالتأثير في أنواعها الموجودة في القرن الظهري للنخاع الشوكي لا غير. وفي هذا المجال، استطاع الباحثون أن يتوصلوا إلى نتائج مشجعة من تجارب أجروها على الحيوان مستخدمين مركبات كيميائية تتحد مع شكل من أشكال هذه المستقبلات يحتوي على ما يسمى **الجزيء NR2B** NR2B subunit. فتبين - على سبيل المثال - أن الفئران التي حقن سائلها الشوكي مباشرة بالمثبط NR2B صارت أقل تحسسا للألم من تلك التي لم تحقن. كما أن هذا العقار استطاع أن يخفي التحسس من المؤثرات غير المؤلمة عادة في الفئران التي عُرضت لأذية عصبية.

كذلك يحرر عدد من الخلايا مستقبلات الألم النواقلَ العصبية الپپتيدية، مثل المادة P، والپپتيد المتعلق بجينة الكالسيتونين (CGPR). هذه الپپتيدات تفعّل الخلايا العصبية الناقلة للألم في النخاع الشوكي عن طريق تأثيرها في مستقبلات خاصة، لذا يتوقع للأدوية التي تحجب التفاعل مع هذه المستقبلات أن تكون فعّالة في تخفيف الألم. ومع الأسف لم يفلح حصار المستقبلة التي تستخدمها المادة P - مستقبلة النيوروكاينين 1 أو NK-1 - في التجارب السريرية للسيطرة على الألم. وقد يرجع السبب إلى أن حصار ذلك المستقبِل غير كاف بحد ذاته. ولا يعرف فيما إذا كان تثبيط فعالية الپپتيد CGPR في النخاع الشوكي سيفيد في التخلص من الألم. علما بأن الصناعة الدوائية تطور حاليا عوامل مضادة لتخفيف ويلات **الشقيقة** migraine بواسطة اعتراض تحرير الپپتيد CGRP في الأوعية الدموية الموجودة على سطح الدماغ.

لنقضِ على حامل الرسالة؟(**)

إذا فشلت جميع المساعي لتعديل إبلاغ إشارة الألم، فيمكن لنا أن نفكر في التخلص من المرسال! إلا أن قطع أعصاب الخلايا مستقبِلات الألم كثيرا ما يعود على المريض بالوبال، لأنه - كما رأينا - قد تولِّد الأذية العصبية آلاما أكثر عنادا وديمومة من الألم الأصلي. ولقد كان قطع الطرق (الحبال) العصبية في النخاع الشوكي التي توصل إشارات الألم إلى الدماغ شائعا في وقت من الأوقات بالماضي، إلا أن هذا الإجراء اليوم غدا محصورا في مرضى السرطان الذين يشكون من مراحل المرض الأخيرة عندما تنعدم الاستجابة لجميع أنواع المعالجات الألية، والمشكلة في الإجراء الأخير هي أن الجراح لا يستطيع إيقاف الشعور بالألم بشكل انتقائي.

وقد يكون أحد الحلول الممكنة لهذه المشكلة - وهو حل يحظى اليوم باهتمام الباحثين نظرا إلى نجاحه في تجارب الحيوان - علاجا بالطب النووي (الذري) يطيح بزمرة من خلايا النخاع الشوكي العصبية التي تستقبل الإشارات من خلايا مستقبلات الألم. هذا العلاج القاتل للخلايا يجمع أحد السموم (ساپورين saporin) إلى المادة P. وفي المركب الناتج تتحد المادة P مع المستقبلات NK-1، وهذا يدخل المركب إلى بنية الجسم، ويسمح للساپورين بعدها أن يقتل الخلية العصبية. ولما كان المركب لا يدخل إلا الخلايا التي تحوي المستقبلات NK-1، فإن الباحثين يأملون أن تكون مضاعفاته الجانبية محدودة.

إلا أن التخلص من خلايا عصبية في النخاع الشوكي يجب أن يكون سهما أخيرا، فخلايا الجهاز العصبي المركزي لا تتكون من جديد بعد موتها، لذلك فالتبدلات التي تحدث بعد مثل هذه العلاجات - سواء كانت حميدة أو ضارة - هي تبدلات دائمة. ولا ينطبق نفس المبدأ على الجهاز العصبي المحيطي، لأن الألياف العصبية المبتورة يمكنها أن تولد نفسها من جديد

(*) Pain Fighters in Development

(**) Kill the Messenger?

لذلك يمكن للعلاجات التي تتلف الأجزاء الكاشفة للإشارات من فروع الخلايا مستقبلات الألم (كالجرعات العالية من كابسايسين)، يمكنها مثاليا إيقاف الألم، مع السماح لهذه الفروع العصبية بالنمو من جديد في النهاية بحيث تعود لكتلة النسيج خصائصها الطبيعية في كشف الألم.

وقد لا يكون استهداف الخلايا العصبية الطريقة الوحيدة للتغلب على الألم، فقد أظهرت الدراسات أن الخلايا الداعمة في النخاع الشوكي (**الدبقية** glia) تنشط عندما تحدث أذية للأعصاب المحيطية، فتهاجر إلى ناحية القرن الظهري المرتبط بالأعصاب المصابة، وهناك تفرز هذه الخلايا مجموعة من المركبات الكيميائية التي تحث نهايات الخلايا مستقبلات الألم على تحرير النواقل العصبية في النخاع الشوكي، وهذا يبقي إشارة الألم قائمة. كذلك تجعل بعض هذه المركبات (مثل عوامل النمو، وجزيئات تدعى **سايتوكاينات** cytokines) خلايا القرن الظهري بحالة تهيج مستمر، ويعتقد أن العقاقير التي تحجب هذه الفعالية الزائدة لا بد أن تحد من حساسية الألم المفرطة. ويعمل عدد من المجموعات الطبية حاليا للكشف عن الجزيئات المسؤولة عن تنشيط الخلايا العصبية الداعمة هذه إبان تأذي الأعصاب وإيجاد طرق لكبحها.

ومن المثير أن المواد التي تحررها الخلايا العصبية الداعمة وتسمى البروستاگلاندينات، تعزز الشعور بالألم باعتراض مستقبلات الحمض الأميني **گلايسين** glycine الموجود على خلايا القرن الظهري العصبية، وهو واحد من النواقل العصبية الناهية التي عادة ما تُهدئ هذه الخلايا. لذلك فالأدوية NSAIDs قد تفيد ليس فقط بمعاكسة إنتاج البروستاگلاندينات في محيط الجسم (وهي الطريقة المعروفة)، ولكن أيضا باعتراض الإنزيمات COX في الخلايا العصبية الداعمة. وهذا يعني أن إيصال مثبطات الإنزيمات COX إلى السائل الشوكي مباشرة قد يخفف كثيرا من الآثار الجانبية التي يسببها إعطاء هذه الأدوية جهازيا، ولكن عقارا يعزز فعالية مستقبلات الگلايسين يمكن أيضا أن يهمد من نقل رسالات الألم إلى الدماغ.

المسألة هي مسألة إدراك(*)

لقد ناقشنا في هذه المقالة مجموعة من التوجهات التجريبية لمعالجة الألم التي أثبتت جدواها في الدراسات على الحيوان. ويمكن القول إن أكثر هذه التوجهات إثارة هي التي لا تلحق تغيرا في الإحساسات الطبيعية، في حين تخفف من التحسس المفرط الذي يرافق الآلام العصبية والالتهابية الصعبة المعالجة، والتي لا يرافقها آثار جانبية مهمة. لكن إذا تساءلنا هل ستفيد هذه العلاجات مرضى الألم المعند فعلا وهل يمكن تطبيقها على جميع أنواع الألم، اضطررنا للاعتراف أن الجواب غير موجود حاليا.

ولعل واحدا من التوجهات التي لم تلق نصيبها الكافي من التجريب هو استخدام العلاجات السلوكية غير الدوائية في الآلام المزمنة ـ وبخاصة تلك التي ترافق حالات مرضية مثل **الأوجاع الليفية العضلية** fibromyalgia و**متلازمة المعى الهيوجة** irritable bowel syndrome، والتي لم يثبت أن لها أسبابا عضوية حتى الآن، وقد بيّن الباحثون في جامعة ماگيل قبل نحو عشر سنوات مثلا أن **التنويم المغنطيسي** hypnosis باستطاعته تغيير فعالية الدماغ بحسب إدراك الشخص لحالة الألم. فبعد تنويم بعض المتطوعين، وغمس أيديهم بالماء الساخن، تمكن العلماء من الايحاء لهم أن الماء الحار هو أكثر أو أقل إزعاجا مما كان عليه فعلا.

ووجد الباحثون باستخدام الومضان الطبقي البوزيتروني (PET) الذي يرقب فعالية الدماغ، أن قشرة الدماغ الحسية الحركية التي تتجاوب مع شدة التنبيه الفيزيائي، كانت فعالة بنفس الدرجة في كلتا الحالتين، في حين كانت منطقة أخرى من الدماغ (القشرة الحزامية) أكثر فعالية عندما اعتقد المتطوعون أن المنبه (الماء الحار) كان أكثر إزعاجا ـ وهذا يدل أن التنويم المغنطيسي غيّر طريقة إدراك المتطوعين لأحاسيس الألم: لذا يعتقد الباحثون أنهم إذا ازدادوا معرفة بالطريقة التي يعدل الدماغ بها تجربة الألم، فقد يستطيعون تطوير علاجات سلوكية جديدة لتخفيف إدراك الألم.

وما علينا إلا أن نأمل أن يوصلنا البحث الحثيث في آليات الشعور بالألم إلى طرق معالجة آمنة وناجعة. ■

(*) A Question of Perception

المؤلفان

Allan I. Basbaum - David Julius

كثيرا ما تعاونا في دراسة الآليات الجزيئية والخلوية المولِّدة للآلام. حصل ‹باسباوم› على الدكتوراه في علم الأعصاب من جامعة بنسلفانيا، وهو حاليا رئيس قسم التشريح في جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو. أما ‹جوليوس› فقد حصل على الدكتوراه في الكيمياء الحيوية من الجامعة U.C في بيركلي، وهو حاليا أستاذ الفارماكولوجيا الجزيئية والخلوية في الجامعة U.C.S.F. وهما مستشاران لشركات تبحث عن علاجات للآلام.

مراجع للاستزادة

The Perception of Pain. A. I. Basbaum and T. Jessel in *Principles of Neural Science.* Edited by Eric R. Kandel et al. McGraw-Hill, 2000.

Molecular Mechanisms of Nociception. David Julius and Allan I. Basbaum in *Nature,* Vol. 413, pages 203–210; September 13, 2001.

Immune and Glial Cell Factors as Pain Mediators and Modulators. S. B. McMahon, W. B. Cafferty and F. Marchand in *Experimental Neurology,* Vol. 192, No. 2, pages 444–462; 2005.

Pain Collection in *Nature Reviews Neuroscience,* July 2005. Available online at www.nature.com/nrn/focus/pain

Emerging Strategies for the Treatment of Neuropathic Pain. Edited by James N. Campbell et al. IASP Press, 2006.

Scientific American, June 2006



مخاطر ازدياد حموضة مياه المحيطات(*)

<S. C.> دوني



في عام 1956، أشار كل من <R. ريفل> و <H. سويس> [وهما جيوكيميائيان يعملان في معهد سكريبس لعلم المحيطات في كاليفورنيا] إلى الحاجة إلى قياس كمية غاز **ثنائي أكسيد الكربون** (CO_2) في الهواء والمحيطات للوصول إلى «فهم أوضح للتأثيرات المناخية المحتملة الناجمة عن الإنتاج الصناعي الكبير المتوقع لثنائي أكسيد الكربون في الخمسين سنة القادمة.» وبتعبير آخر أرادا أن يفهما كيف يمكن أن تكون عليه الوضعية المنذرة بالكارثة في الوقت الحاضر: ولذلك يبدو مدهشا أن يحتاجا الآن إلى البرهنة على أهمية مثل هذه الملاحظات، ولكن في ذلك الوقت لم يعرف العلماء بالتأكيد فيما إذا كان ثنائي أكسيد الكربون المنطلق من عوادم الآلات ومداخن المعامل، يمكن أن يتراكم فعلا في الغلاف الجوي. وقد اعتقد البعض بقدرة مياه البحر على امتصاص جميع ثنائي أكسيد الكربون أو أن تمتصه نباتات اليابسة.

فقد رأى <ريفل> مع الراحل <D. C.> كيلنك [الباحث الشاب الذي استخدمه في هذا المشروع] أنّه كان عليهما أن يضعا المعدّات في أمكنة بعيدة عن المصادر المحلية لإطلاق ثنائي أكسيد الكربون وامتصاصه، التي ربّما تُعطي قياسات متغيرة بصورة مضلِّلة. وكان أحد الأمكنة الذي اختاراه بعيدا كل البعد عن النشاطات الصناعية والغطاء النباتي الذي يمكن أن يصل إليه أي شخص: وهو القطب الجنوبي. أمّا المكان الآخر فكان في محطة الأرصاد الجوية المقامة على قمة مونا لوا في جزيرة هاواي.

استمر الرصد في مونا لوا من عام 1958 حتى الوقت الحاضر (باستثناء انقطاع واحد قصير). ولأن موقع هاواي ليس بعيدا كموقع القطب الجنوبي، فهو يُري ارتفاعا وهبوطا حادّين في مستويات ثنائي أكسيد الكربون متوافقة مع تغيّر الفصول في نصف الكرة الشمالي، إلا أنه في نهاية كل سنة يصبح تركيز هذا الغاز الحابس للحرارة أعلى ممّا كان عليه قبل 12 شهرا. وهكذا لم يمض زمن طويل على المجتمع العلمي ليدرك أنّ <ريفل> كان مصيبا ـ فمعظم ثنائي أكسيد الكربون المنطلق إلى الغلاف الجوي مقدّر له أن يبقى هناك. كما أن حساباته كانت صحيحة عندما أوضح أنّ جزءا مهما من هذا الغاز ينتهي في البحر. لقد كان واضحا لدى <ريفل> منذ مدة طويلة أنّ الجزء الذي انتهى في البحر سيغيّر كيميائية مياه البحر تغييرا جوهريا. وبخلاف بعض مظاهر التغيّر المناخي، فإنّ حقيقة هذا التأثير ـ وهو بصورة أساسية ازدياد حموضة مياه المحيطات ـ لم تُناقش بصورة جدية، مع أنّ تأثيراتها الكاملة قد بدأ كشفها حاليا.

كم هو غير طبيعي؟(**)

سجلّ نصف القرن الذي قدّمه <كيلنك> قيّم للغاية، غير أنّ مدته كانت قصيرة جدا لوضع الحالة الراهنة في سياقها: ومع ذلك استطاع العلماء الحصول على عرض أطول مدةً وذلك بقياس

(*) THE DANGERS OF OCEAN ACIDIFICATION
(**) How Unnatural?

يدخل الكثير من غاز ثنائي أكسيد الكربون المنبعث من احتراق الوقود الأحفوري في المحيطات، حيث يغيّر التوازن الحمضي لمياه البحر. وقد يكون تأثير هذا التغير في الحياة البحرية كبيرا جدا.



تتعرّض الشعاب المرجانية ـ والتنوُّع البيولوجي (الحيوي) الرائع الذي تعيله ـ لهجوم قوي متعدّد، يشمل التعرّض لموادّ كيميائية سامة ولتخريب فيزيائي مباشر. وربما كان التهديد الأعظم والمعروف بدرجة أقل هو تغير كيمياء مياه المحيطات الذي يسبّبه احتراق الوقود الأحفوري. ففي الوقت الحاضر، يدخل إلى مياه المحيطات ثلث كمية ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) المنطلق من عملية الحرق هذه خافضا بذلك الرقم الهدروجيني pH لمياهها القلوية الطبيعية. وهذا الانحراف نحو ظروف أكثر حمضية يضعف قدرة المرجانيات (والكثير من الكائنات الحية البحرية الأخرى) على النمو.

الفقاعات الهوائية المحبوسة في لباب الجليد. فقد توصّلوا من هذا الأرشيف الطبيعي إلى أن تركيز ثنائي أكسيد الكربون في الغلاف الجوي كان ثابتا تقريبا لعدة آلاف من السنين وبعدها بدأ بالزيادة بسرعة مع بداية عصر التصنيع في القرن التاسع عشر. إنّ نسبة هذا الغاز في الوقت الحاضر أعلى بنحو 30% عما كانت عليه قبل عدة مئات من السنين، ومن المتوقّع أن تصبح ضعفي أو ثلاثة أضعاف مستواها السابق في نهاية هذا القرن.

يأتي المدد المتنامي من الكربون في جزئه الأكبر من احتراق الوقود الأحفوري: الفحم الحجري والنفط والغاز الطبيعي (تضيف صناعة الأسمنت واحتراق الغابات المدارية بعضا منه أيضا. وللتبسيط دعنا نصرف النظر عن هذا الرقم الثانوي من أجل الوضوح). وبخلاف مكونات الكائنات الحية، لا يحوي الوقود الأحفوري ـ أو يحوي القليل من ـ الشكلَ المشعّ من الكربون؛ أي من نظير الكربون 14 الذي يتألّف من ثمانية نيوترونات في نواته عوضا عن ستة نيوترونات في الكربون العادي. كما أن في الوقود الأحفوري نسبة فريدة من نظيري الكربون المستقرين (الكربون 12 والكربون 13): ومن ثم فإن احتراق الوقود الأحفوري سيترك بصمة نظيرية متميّزة في الغلاف الجوي. وهكذا لا يمكن لأحد أن يتساءل من أين تأتي الزيادة المتنامية من ثنائي أكسيد الكربون.

يمكن أن تتغيّر معدّلات الامتصاص. وفي وقتنا الحاضر فإنّ نحوا من 40% من ثنائي أكسيد الكربون المنبعث من الوقود الأحفوري يبقى في الغلاف الجوي؛ أمّا الباقي فتمتصه نباتات اليابسة أو مياه المحيطات، بنسب متساوية تقريبا. إنّ حقن كربون الوقود الأحفوري في مياه البحر لا يكوّن حاليا إلا إضافة صغيرة نسبيا إلى المحيط الذي هو مستودع ضخم لهذا العنصر الطبيعي؛ ولذلك يتطلّب تحرّي الامتصاص وتحديد كميته قياسات دقيقة دقّة واحد في الألف. ونظرا إلى أن كميات الكربون تتغيّر من مكان إلى آخر، فإنّ العمل يحتاج أيضا إلى الموارد والمثابرة لمسح تركيزات الكربون عبر العالم. لقد قام علماء المحيطات بهذا العمل تماما في أواخر الثمانينات والتسعينات من القرن الماضي، كجزء من تقييم عالمي قامت به مجموعتا بحث عرفتا باسميهما المختصرين JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study) و WOCE (World Ocean Circulation Experiment).

ومع ذلك لم تتمكّن تلك المسوح من التمييز في الكربون المقاس بين ما هو طبيعي وما هو مشتق من ثنائي أكسيد الكربون الذي طرحه الناس في الهواء. ولإنجاز هذا العمل قام في عام 1996

<N. كروبر> [الذي يعمل حاليا في جامعة كاليفونيا، لوس أنجلوس] مع اثنين من زملائه، بتطوير تقنية جديدة. إنّ تطبيق طريقة <كروبر> على معلومات المجموعتين JGOFS و WOCE، هذا التمرين الذي انتهى في عام 2004، يوحي بأنّ المحيطات امتصت تماما نصف الكربون الأحفوري المنطلق إلى الغلاف الجوي منذ بداية الثورة الصناعية.

والطريقة الأخرى لتوثيق هذه العملية هي إجراء قياسات متكررة للكربون في الجزء نفسه من المحيط. ويجب الحذر في تمييز الكربون الأحفوري من المصادر البيولوجية المختلفة لعنصر الكربون في مياه البحر. وتحتاج الملاحظات إلى عقد من الزمن أو أكثر للكشف عن الاتجاه الكلي الناتج من حرق الوقود الأحفوري مقابل خلفية التغيّرات الطبيعية. لقد قمت في العام الماضي (2005) مع <R. فانينكوف> [من مختبر National Oceanic and Atmospheric Administration's Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory] بقيادة بعثة بحث لإجراء تجربة مثل هذه تماما.

منذ بداية الثورة الصناعية، امتصت المحيطات بصورة كاملة نصف كمية الكربون الأحفوري المنطلقة في الغلاف الجوي.

لقد أمضينا شهرين تقريبا مع فريق مكون من 31 عالما وفنيا وطالبا على متن مركب لأخذ العينات من أجل دراسة الخواص الكيميائية والفيزيائية لجنوب غرب المحيط الأطلسي، بدءا من سطحه إلى قاعه ومن القطب الجنوبي إلى خط الاستواء، وهي الشريحة نفسها من المحيط التي قمت بقياسها مع علماء آخرين في عام 1989 عندما كنت طالب دراسات عليا.

وعندما قارنا ملاحظاتنا التي أجريناها في عام 2005 بتلك التي أجريت قبل 16 سنة، وجدنا أنّ تركيز الكربون في مئات الأمتار القليلة العليا من المحيط الأطلسي في الوقت الحاضر أعلى ممّا كانت عليه في الماضي القريب، وهو متوافق مع فكرة أنّ البحر يمتص ثنائي اكسيد الكربون الجوي. وقد وجد علماء بحار آخرون اتجاهات مشابهة في المحيطين الهادئ والهندي. فما هو بالضبط ما يُنذر به هذا التغيّر في البيئة البحرية؟

نظرة إجمالية/ثنائي أكسيد الكربون في المحيطات(*)

- **في الوقت الحاضر، ينتهي في المحيطات نحو ثلث كمية ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) المنطلق من احتراق الوقود الأحفوري.**
- **يتكوّن حمض الكربون من ثنائي أكسيد الكربون الممتص في مياه البحر مخفضا بذلك مستوى الرقم الهدروجيني pH السائد (الذي هو قليل القلوية) ومغيّرا توازن أيونات الكربونات والبيكربونات.**
- **إنّ الانزياح نحو الحموضة والتغيّرات في كيميائية مياه المحيطات التي تنشأ، تجعل بناء المخلوقات البحرية لأجزائها الصلبة من كربونات الكالسيوم أكثر صعوبة. وهكذا فإن انخفاض الرقم الهدروجيني يهدّد مجموعة من الكائنات الحية البحرية تتضمّن المرجانيات التي هي أحد مواطن الكائنات الأغنى على الكرة الأرضية.**
- **وخلال قرن من الزمن سيصبح سطح المحيط الجنوبي مؤذيا لأصداف القواقع (الحلزونيات) الصغيرة التي تشكّل حلقة مهمة من حلقات سلسلة الغذاء البحري ضمن هذه المنطقة المرتفعة الإنتاج.**

مراجعة لأوليات كيمياء المحيطات(**)

مع الأسف، يتطلّب تفسير هذه التغييرات في مياه المحيطات، مراجعة لبعض دروس كيمياء السنة الأولى الجامعية؛ ولكن الأمر ليس شاقا. يتحد ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) مع الماء (H_2O) ليشكّل حمض الكربون الضعيف (H_2CO_3)، وهو الحمض نفسه الموجود في المشروبات الغازية الكربوناتية. وهو مثل جميع الحموض يطلق أيونات الهدروجين (H^+) في المحلول، ويُحرّر أيضا أيونات البيكربونات (HCO_3^{-1}) مع كمية أقل من أيونات الكربونات (CO_3^{-2}). ويبقى جزء صغير من حمض الكربون في المحلول من دون أن يتفكّك مع كمية صغيرة أيضا من ثنائي أكسيد الكربون. والخليط الناتج المؤلّف من مركبات الكربون والأيونات هو إلى حد ما خليط معقّد.

والنتيجة البسيطة الوحيدة لكل هذا الذوبان والتفكّك هي زيادة في تركيز أيون الهدروجين، حيث يقدّر الكيميائيون عادة كميتها بمقياس الرقم الهدروجيني (pH) المعروف. إن انخفاض وحدة واحدة على هذا المقياس يتوافق مع زيادة مقدارها عشرة أضعاف في تركيز أيونات الهدروجين، وهذا يجعل الماء أكثر حمضية، في حين أن ارتفاعه وحدة واحدة نحو الأعلى يتوافق مع نقصان 10 أضعاف، وهذا يجعل الماء أكثر قلوية. والرقم الهدروجيني المتعادل (للماء النقي) هو 7. ويراوح الرقم الهدروجيني لماء البحر الأصلي ما بين 8 و 8.3، وهذا يعني أن مياه المحيطات إلى حدّ ما هي مياه قلوية بصورة طبيعية.

لقد تسبّب امتصاص ثنائي أكسيد الكربون في خفض الرقم الهدروجيني في المياه السطحية الحديثة قرابة 0.1 (أقل قلوية) ممّا كان عليه في الأزمنة ما قبل الصناعية. وما لم تُعدّل الحضارة «شهيتها» للوقود الأحفوري في القريب العاجل وبطريقة فعّالة فإنّ الرقم الهدروجيني لمياه المحيط سوف يهبط 0.3 إضافية عند حلول عام 2100. وفي تنبؤ مقلق لمستقبل أكثر بعدا يشير <K. كالديرا> [المتخصص في علم المحيطات بمعهد كارنيگي في واشنطن] إلى أنّ الرقم الهدروجيني للمحيطات سيصبح بعد قرون من الآن أخفض من أي وقت مضى خلال 300 مليون سنة الماضية.

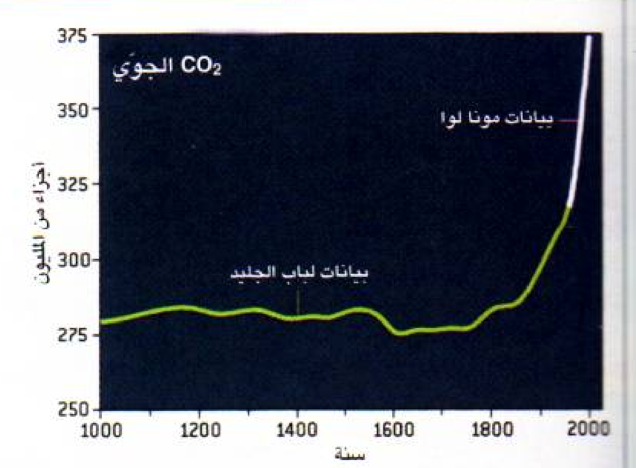
وقد تبدو هذه التغيّرات في الرقم الهدروجيني صغيرة ولكنها تنذر بالخطر: إذ تشير التجارب الحديثة بوضوح إلى أنّ هذا التغيّر يُؤذي بعض أشكال الحياة البحرية وبصورة خاصة الكائنات التي تعتمد على وجود أيونات الكربونات لبناء أصدافها (أو الأجزاء الصلبة الأخرى) من كربونات الكالسيوم ($Ca\ CO_3$).

في البداية، يبدو هذا «القلق» متناقضا. فعلى الرغم من جميع الاعتبارات، وإذا كان بعض ثنائي أكسيد الكربون الذي امتصته مياه البحر يتفكّك إلى أيونات كربونات، فيتوقع أن يوجد الكثير منها في هذه المياه، أكثر مما كان متاحا في غير هذه الظروف. ومع ذلك، يتصدّع هذا المنطق لأنه يهمل تأثير جميع أيونات الهدروجين التي تكون قد تشكّلت والتي تنزع إلى الاتحاد مع أيونات الكربونات مشكلة أيونات بيكربونات

Overview/ CO_2 in the Ocean (*)

Ocean Chemistry 101 (**)

ثنائي أكسيد الكربون (CO_2): من الغلاف الجوي إلى المحيط(*)



ارتفع تركيز ثنائي أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ارتفاعا كبيرا في القرن الماضي أو نحو ذلك. وقد تمّ توثيق هذا الارتفاع المقلق توثيقا جيدا (*في اليمين*) بضم تقنيتين اثنتين: أولاهما فحص فقاعات الهواء المنحبسة في جليد الجليديات (الثلاّجات) [*الجزء الأخضر من الخط البياني* الذي يبيّن معدل (متوسط) 75 سنة]، والتقنية الأخرى هي القياسات المباشرة للغلاف الجوي [*الجزء الأبيض من الخط البياني* الذي يعكس المعدّل السنوي المقاس في محطة الأرصاد الجوية المقامة في أعلى جبل مونا لوا على الجزيرة الكبيرة من هاواي].

إنّ هذا التركيز المتزايد لثنائي أكسيد الكربون، بهذا القدر، يمكن أن يكون أكبر بكثير فيما لو لم تمتص مياه البحر الكثير منه ـ وهي ظاهرة وثّقتها المسوح التي أجريت في المحيطات. وتبيّن المقاطع السفلى أمكنة وجود نحو نصف تدفّق الوقود الأحفوري في الوقت الحاضر ـ في الأجزاء العليا من محيطات العالم.

CO_2 المحيطات

المحيط الهندي

المحيط الأطلسي

المحيط الهادىء

بدون بيانات (قاع البحر/ جبل تحت بحري)

خط الاستواء

العمق (كيلومتر تحت مستوى البحر)

خط العرض

خط الطول 90 شرقا

خط الطول 30 غربا

خط الطول 170 غربا

تركيز الغاز CO_2 المشتق من الوقود الأحفوري

70 ميكرومول/كغ مرتفع

0 ميكرومول/كغ منخفض

والنتيجة النهائية هي إذًا نقصان في تركيز أيونات الكربونات.

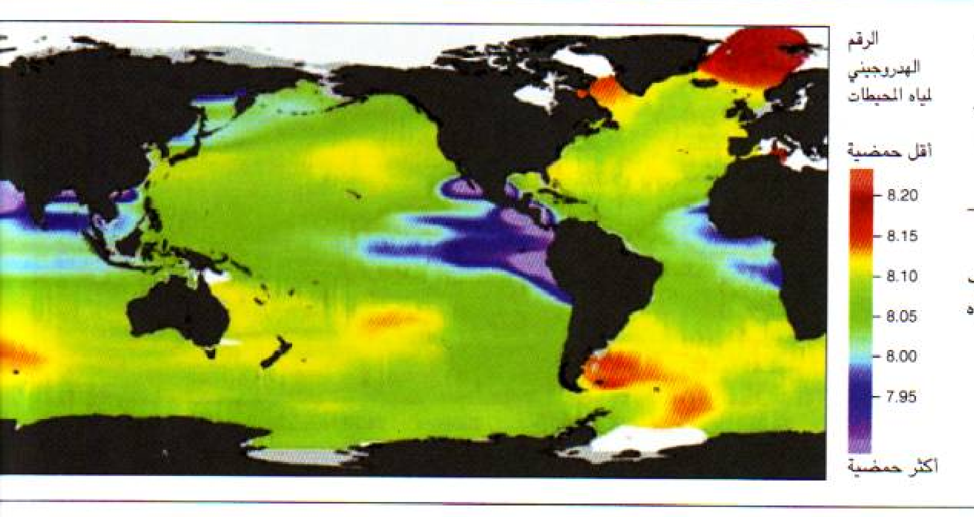
ويكمن القلق من أنّ خفض الرقم الهدروجيني (وكذلك تركيز أيونات الكربونات التي من المتوقّع أن تنخفض إلى النصف في أثناء هذا القرن) سوف يعرقل قابلية بعض الكائنات الحية على تصنيع كربونات الكالسيوم إلى حدّ سيجعل نمو تلك الكائنات الحية صعبا. إنّ أكثر أشكال الحياة تأثرا بذلك هو نوع من **العوالق النباتية** phytoplankton (كائنات نباتية طافية) تدعى حاملات **الكوكوليتات** coccolithophorids المغطاة بلويحات صغيرة من كربونات الكالسيوم وتوجد بشكل عام قريبة من سطح المحيطات (حيث تستخدم ضوء الشمس الوفير في عملية التركيب الضوئي). أمّا الأمثلة الأخرى المهمة فهي الكائنات الطافية التي تدعى **المنخربات** foraminifera (التي تنتمي إلى مجموعة **المتمورات** amoeba) و**البتروبودات** pteropods (قواقع بحرية صغيرة). وهذه المخلوقات الصغيرة تكوّن مصدرا غذائيا رئيسيا للأسماك والثدييات البحرية التي تتضمّن بعض أنواع الحيتان.

(*) CO_2: From Atmosphere To Ocean

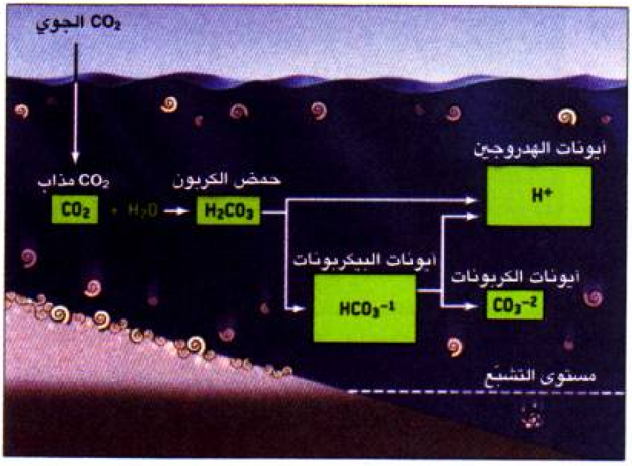
الحموضة المتغيرة في مياه المحيطات[*]

تكشف القياسات التي أجريت على الخمسين مترا العليا من مياه المحيطات، أنّ الرقم الهدروجيني يتغيّر تغيّرا كبيرا من مكان لآخر. ويتوقّع العلماء تناقص الرقم الهدروجيني في مياه المحيطات في السنوات القادمة.

تنشأ المناطق المائية ذات الرقم الهدروجيني المنخفض نسبيا (يعني ذلك زيادة في الظروف الحمضية) على الأغلب من خلال صعود المياه العميقة طبيعيا. قد تكون هذه المناطق، مثل تلك التي تقع في الجزء الاستواني الشرقي من المحيط الهادئ، أمكنة جيدة للعلماء لدراسة التأثيرات المتوقع سيادتها على مساحات أوسع في المستقبل.



ويخشى البيولوجيون أيضا ممّا قد يحدث للمرجانيات، التي على الرغم من مظهرها الذي يشبه النباتات، فإنها في الواقع مستعمرات من حيوانات صغيرة تنتمي إلى **شقائق البحر** sea anemones، فهي تتغذّى بترشيح العوالق البحرية (كائنات صغيرة طافية) من مياه البحر وتفرز هياكل من كربونات الكالسيوم التي تتراكم مع الزمن لتشكيل ما يسمى **الشعاب المرجانية** coral reefs التي تشكّل **النُّظُم البيئية** ecosystems الأكثر إنتاجا وتنوّعا من الناحية البيولوجية. وإضافة إلى ذلك تسهم **الطحالب المرجانية** coralline algae (طحالب تفرز أيضا كربونات الكالسيوم، وغالبا ما تشابه المرجانيات في المظهر) في «**كلسنة**» calcification الكثير من الشعاب المرجانية. فالرصيف (الشعب) الحاجزي الكبير Great Barrier Reef المقابل لشاطئ أستراليا مثلا - وهو البنية البيولوجية الأكبر في العالم - هو بكل بساطة تراكم من المرجانيات والطحالب المرجانية، جيلا بعد جيل.



يتحد ثنائي أكسيد الكربون الممتص من الهواء مع الماء لتشكيل حمض الكربون. يبقى جزء من هذا المركّب في مياه المحيطات ولكن معظمه يتفكك إلى أيونات الهدروجين المحمِّض وأيونات البيكربونات. كما أنّ بعض أيونات البيكربونات تتفكك مشكلة أيونات كربونات وأيونات هدروجين إضافية. وتسبّب هذه التغيّرات الكيميائية انزياح مستويات التشبّع saturation horizons نحو الأعلى (نحو سطح البحر) فيما يتعلّق بمعدني الكالسيت والأراكونيت - حيث تذوب أصداف الكائنات الحية المكونة من هذين المعدنين في المياه العميقة تحت هذه المستويات.

وتوجد أمثلة أقل وضوحا في أمكنة أعمق من البحار، حيث تغطّي جزئيا تجمّعات من مرجانيات الماء البارد الحواف القارية و**الجبال البحرية** seamounts مشكلة مواطن مهمة للأسماك.

تدين مرجانيات المياه الضحلة بألوانها الجميلة جزئيا إلى الطحالب المتكافلة معها التي تعيش داخل خلايا المرجان. تترك أحيانا هذه الطحالب عائلها (مضيفها) استجابة لأشكال متنوعة من الإجهاد البيئي كاشفة بذلك الهيكل الأبيض الذي تحتها المؤلّف من كربونات الكالسيوم. ويمكن أن تحدث عملية «**التبييض**» bleaching هذه، نتيجة لارتفاع درجات الحرارة ارتفاعا كبيرا مثلا. ويظن بعض العلماء أنّ ازدياد حموضة مياه المحيطات (أو بتعبير أصحّ نقصان في الحالة القلوية الضعيفة في مياه المحيطات) ينزع أيضا إلى الحضّ على مثل هذه الأحداث العرَضية.

البقاء للأثخن؟[**]

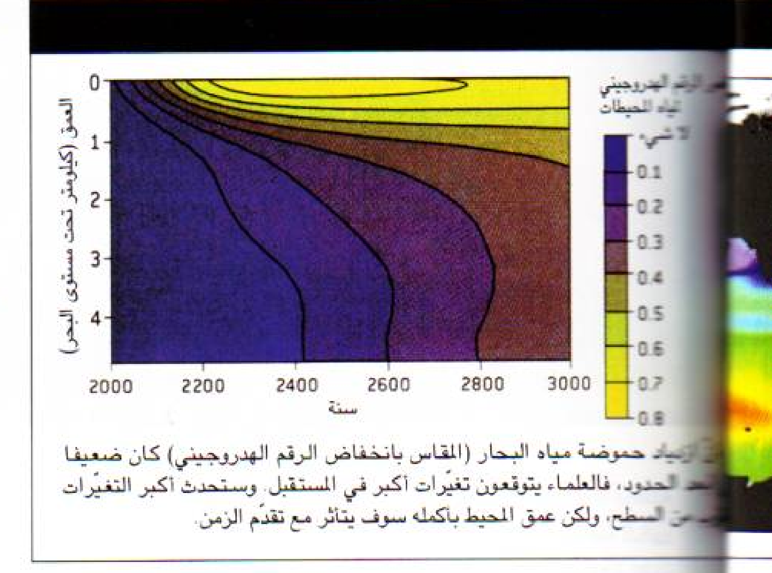
ومع ذلك يمكن أن تتأثّر المرجانيات والكائنات البحرية المكلسنة، بازدياد الحموضة بطرق أكثر أهمية - أي يمكن لأصدافها في الواقع أن تتفتّت. وإذا أردت توضيح هذا القلق: دع قطعة من الطباشير (كربونات الكالسيوم) تسقط في كأس تحوي حمض الخل (وهو حمض ضعيف)، ستبدأ قطعة الطباشير بالذوبان فورا. وللوصول إلى فهم أكمل لشكل الحياة الأكثر عرضة للخطر، مثل خطر الموت، لا بدّ من درس آخر في الكيمياء.

توجد كربونات الكالسيوم في المرجانيات أو في أصداف المخلوقات البحرية الأخرى في شكلين معدنيين اثنين: الكالسيت والأراكونيت. كما أن بعض الكائنات الحية التي تفرز الكالسيت تضيف عنصر المغنيزيوم إلى المزيج. ويكون كل من الأراكونيت والكالسيت المغنيزي أكثر ذوبانا من الكالسيت العادي. وهكذا فإنّ المرجانيات و البتروبودات التي تبني أصدافها من الأراكونيت، والطحالب المرجانية المكونة أصدافها من الكالسيت المغنيزي، قد تكون معرّضة بصورة خاصة للأذى نتيجة ازدياد حموضة مياه المحيطات.

تعتمد قابلية ذوبان كربونات الكالسيوم بصورة أساسية على

(*) The Ocean's Changing Acidity

(**) Survival of the Thickest?



ازدياد حموضة مياه البحار (المقاس بانخفاض الرقم الهدروجيني) كان ضعيفا [...] الحدود، فالعلماء يتوقعون تغيّرات أكبر في المستقبل. وستحدث أكبر التغيّرات [...] السطح، ولكن عمق المحيط بأكمله سوف يتأثر مع تقدّم الزمن.

تركيز أيونات الكربونات (ومن ثم تعتمد بصورة غير مباشرة على الرقم الهدروجيني)، ولكن قابلية الذوبان تتوقّف أيضا على متغيّرات متعدّدة أخرى تتضمّن درجة الحرارة والضغط. إن الكثير من المياه الباردة العميقة الحالية مياه حمضية تكفي لإذابة أصداف كربونات الكالسيوم. ويقال لهذه المياه إنها مياه «**تحت مشبعة**» undersaturated. وتوصف المياه السطحية الدافئة الضحلة بأنّها «**فوق مشبعة**» supersaturated فيما يتعلّق بالكالسيت والأراگونيت على السواء، وهذا يعني عدم قابليتهما للذوبان. إنّ الانتقال بين الظروف تحت المشبعة والظروف فوق المشبعة يرجع إلى مستوى الإشباع؛ أي إلى المستوى الذي تبدأ تحته الأصداف والهياكل المؤلفة من كربونات الكالسيوم بالذوبان.

إن تدفق ثنائي أكسيد الكربون من الغلاف الجوي إلى المحيط تسبّب في إزاحة مستوى التشبّع للأراگونيت والكالسيت مسافة 50 إلى 200م إلى الأعلى نحو سطح المحيطات مقارنة بما كان عليه في القرن التاسع عشر. وتشير الدراسات الحديثة إلى أنّ مستوى التشبع سيرتفع أكثر في العقود القادمة. ومن ثم، كلّما ازدادت حموضة مياه المحيطات أكثر فأكثر، صارت الأجزاء العلوية منها، الصديقة للقواقع[1]، أقل سمكا. وبمعنى آخر ستصبح مياه المحيطات بالتدريج أقل ملاءمة للكائنات الحية المفرزة لكربونات الكالسيوم.

ومنذ البداية، استنتج الكثير من العلماء أنّ ازدياد حموضة مياه المحيطات يمكن أن يثير فقط مشكلة ثانوية لأنّ المياه السطحية ستبقى «فوق مشبعة» ـ على الأقل فيما يتعلّق بالكالسيت الذي هو الشكل الأكثر استقرارا من كربونات الكالسيوم. ففي أواخر التسعينات من القرن الماضي، قاد <C. لانگدون> [المتخصص في البيولوجيا البحرية بجامعة ميامي] تجربة متميّزة لاختبار هذا الافتراض؛ إذ غيّر كيمياء المياه على رصيف مرجاني صنعي أقيم في خزان ضخم في مختبر البيوسفير II بجامعة كولومبيا (الذي يقع، بصورة مستغربة، في وسط صحراء أريزونا). وبصورة مدهشة وجد أن معدّل إنتاج كربونات الكالسيوم في المرجانيات قد انخفض مع انخفاض الرقم الهدروجيني، مع أنّ المياه بقيت فوق مشبعة إلى حد بعيد فيما يتعلّق بالأراگونيت.

وبعد مدة قصيرة برهن <U. ريبيسل> [من معهد ألفرد وگنر للأبحاث البحرية والقطبية] وزملاؤه على وجود إعاقة مشابهة في نمو حاملات الكوكّوليتات الطافية. وتتوافر حاليا تجارب مختبرية للكشف عن التأثيرات المؤذية لتزايد ثنائي أكسيد الكربون (والرقم الهدروجيني الأخفض الذي ينتج منها) على كل المجموعات الرئيسية من الكائنات الحية البحرية التي تتمتع بأجزاء صلبة مؤلفة من كربونات الكالسيوم.

ونظرا إلى كون درجة فوق إشباع المياه الباردة هي أقل بصورة طبيعية من المياه الدافئة لجميع أشكال كربونات الكالسيوم، فإنّ نظُم البيئات المائية العميقة الواقعة في مناطق خطوط العرض العليا قد تكون الأولى التي تعاني ازدياد حموضة مياه المحيطات. والأمر الأكثر احتمالا أنّ المياه السطحية القطبية ستصبح «تحت مشبعة» بالنسبة إلى الأراگونيت قبل نهاية هذا القرن. واعتمادا على أعمال <J. V. فابري> [من جامعة ولاية كاليفورنيا، سان ماركوس]، فإنّ

وهكذا كلما ازدادت حموضة مياه المحيطات أكثر فأكثر صارت الأجزاء العلوية منها، الصديقة للقواقع[1]، أقل سمكا.

إحدى الإمكانيات المقلقة تكمن في أنّ البتروپودات القطبية سوف تختفي جميعها تماما، أو ربّما سوف تجبر على الهجرة إلى مناطق خطوط العرض الأدنى والأدفأ على افتراض إمكانية تكيّفها مع تلك البيئات. ولا يعلم أحد كيف سيؤثّر النقصان الكبير في عدد البتروپودات في الأجزاء الأخرى من النظام البيئي البحري. ولكن حقيقة أنّ تلك القواقع الصغيرة تشكل حلقة في السلسلة الغذائية للمحيط الجنوبي (فهي تعيل جماعات كبيرة من الأسماك والحيتان والطيور البحرية) هي سبب وجيه لهذا القلق.

وقد ينتظر العوالقَ البحريةَ الكلسية النباتية والحيوانية في خطوط العرض العليا مصير مشابه، مع أنّ تضاؤل أعدادها سيتم بعد عقود من الزمن بسبب أنّ أصدافها مكوّنة من الكالسيت وهو شكل كربونات الكالسيوم الأقل ذوبانا. ومن المحتمل أيضا أن تتأثر مجتمعات مرجان المياه العميقة وبصورة خاصة تلك التي تعيش في غرب الأطلسي الشمالي على طول ممر المياه المحتوية على تراكيز مرتفعة من الكربون الناجمة عن انبعاثات الوقود الأحفوري.

أمّا مستقبل الشعاب المرجانية المتوقع فمن المؤكد أنّه أكثر قتامة. وفي هذه النظم البيئية «الثمينة»، فإن ازدياد حموضة مياه المحيطات ليس إلا واحدا من إجهادات بيئية كثيرة، وهو هجوم يتضمّن: احترارا دفيئيا وتلوثا محليا وصيدا جائرا وتدميرا للمواطن. والكثير من الشعاب المرجانية حاليا في تراجع ويمكن أن يدفع ازدياد حموضة مياه المحيطات بعضها إلى الموت، ومن ثم إلى انقراضها.

تغيّر بحري قادم[*]

وبمقدار ما يتوقع من حدوث ظروف سيئة للكثير من الكائنات الحية البحرية، فإنه سيكون هناك بعض المنتصرين أيضا. ففي

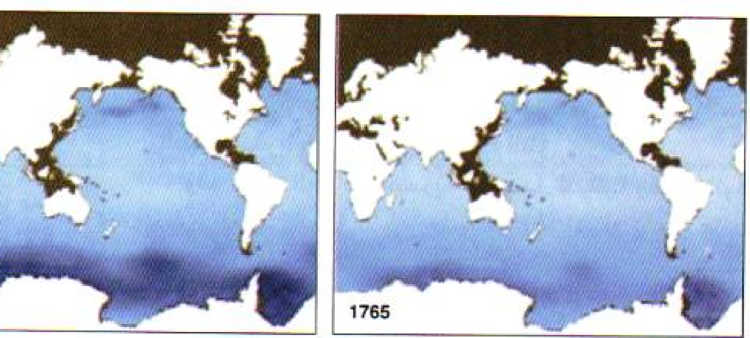
(*) Coming Sea Change
(1) shell friendly

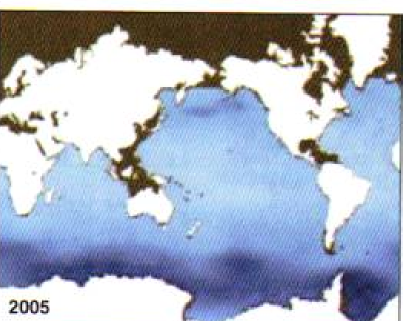


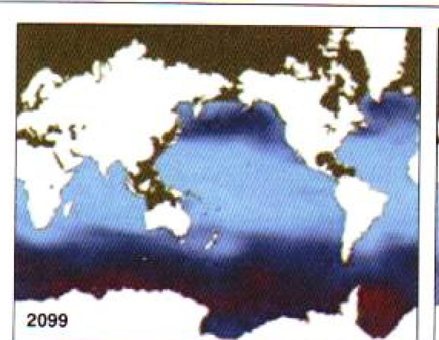
الوقت الحاضر، توجد كمية قليلة من الكربون في مياه البحر على شكل ثنائي أكسيد كربون ذائب، وهذه الندرة تحدّ من نمو بعض أنماط العوالق النباتية (كائنات نباتية طافية). ويكرّس الكثير من هذه الأنواع جزءا مهما من طاقته لتركيز ثنائي أكسيد الكربون داخل خلاياه. ومن المفترض أنّ الزيادات في ثنائي أكسيد الكربون المذاب ستكون مفيدة لها، وربّما هذا هو الذي سيحصل. ومع ذلك لم يُعرف الشيء الكثير عن هذا المفعول **التسميدي** fertilization لوضع تنبؤات ثابتة لمستقبل العوالق النباتية أو للقول فيما إذا كانت المستويات الأعلى لثنائي أكسيد الكربون ستفيد الطحالب التي تقوم بعملية التركيب الضوئي والتي تعيش داخل المرجانيات. إنّ الكثير من أنواع العوالق النباتية البحرية يستخدم أيون البيكربونات في عملية التركيب الضوئي. ونظرا إلى أن تركيز هذا الأيون لن يتغير

المستقبل «المُخرق» للأراكونيت(*)

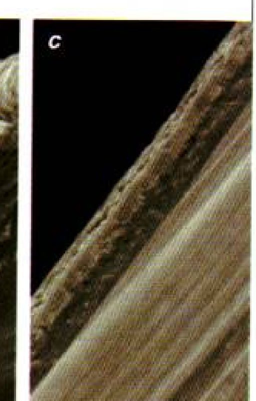
إنّ نقصان مستويات الرقم الهدروجيني سيضعف قدرة بعض الكائنات البحرية على بناء أجزائها الصلبة وسوف يؤثّر هذا النقصان عاجلا وبشدة في المخلوقات التي تبني أجزاءها الصلبة من الأراكونيت ـ وهو شكل كربونات الكالسيوم الأكثر قابلية للذوبان. وستتغيّر درجة التهديد بحسب المناطق.

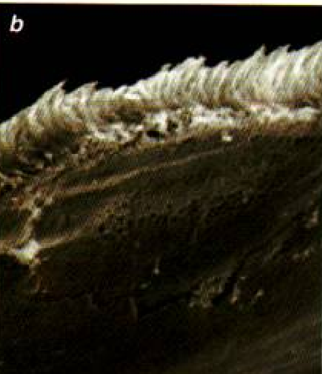


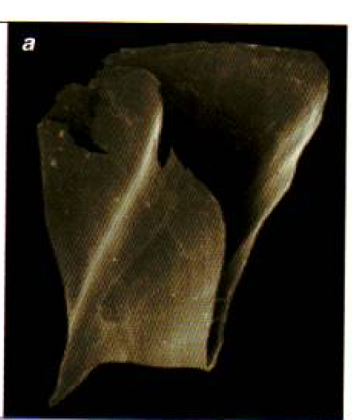




قبل الثورة الصناعية (*في اليمين*) كانت المياه السطحية بمعظمها فوق مشبعة إلى حد كبير فيما يتعلّق بالأراكونيت (*اللون الأزرق الفاتح*) متيحة للكائنات الحية البحرية تكوين هذا المعدن بسهولة. غير أنّه في الوقت الحاضر (*في الوسط*) تكون درجة فوق إشباع المياه القطبية منخفضة جدا (*اللون الأزرق القاتم*). أمّا في نهاية هذا القرن (*في اليسار*) فإنّه من المتوقع أن تصبح أمثال هذه المياه الباردة، وبصورة خاصة تلك التي تحيط بقارة القطب الجنوبي، تحت مشبعة (*اللون الأرجواني*)، وهي شروط يصعب معها على الكائنات الحية تصنيع الأراكونيت وتؤدّي إلى ذوبان الأراكونيت الذي تمّ تشكّله.







تشكّل البتروبودات حلقة في سلسلة الغذاء في كامل المحيط الجنوبي. ويمكن أن تكون التغيّرات كارثية بالنسبة إلى هذه الحيوانات (والحيوانات التي تعتمد عليها في غذائها) كما تبين الصور (في اليمين). تبيّن الصورة *a* تآكل سطح صدفة البتروبود (التي وضعت لمدة 48 ساعة في مياه تحت مشبعة بالنسبة إلى الأراكونيت). وتبيّن الصورة *b* هذا التآكل بصورة أوضح وبتكبير أكبر. أمّا الصورة *c* فتبيّن صدفة لأحد البتروبودات لم تتعرض للذوبان.

(*) The (RAGGED) Future of Aragonite

تتضمن الكائنات الحية البحرية المعرَّضة للخطر من زيادة حموضة مياه المحيطات: المرجانيات والطحالب المرجانية التي توجد بصورة عامة في مجتمعات الشعاب المرجانية، إضافة إلى المنخربات وحاملات الكوكّوليتات الموجودة بكثرة في معظم المياه السطحية. وهناك مجموعة أخرى مهدّدة هي القواقع البحرية الصغيرة التي تدعى البتروبودات وتعيش بصورة خاصة في المياه القطبية الباردة.



طحالب مرجانية (أمفيروا أنسيبس)

مرجان (مليبورا تنيلا)

كثيرا، فلا يتوقع البيولوجيون أن يزداد نمو هذه الكائنات الحية زيادة كبيرة. إنّ بعض النباتات الأرقى (مثل الأعشاب البحرية) يستخدم مباشرة ثنائي أكسيد الكربون المذاب، ومن المحتمل أنه سيستفيد من مستوياته المرتفعة تماما مثل النباتات الأرضية التي يزداد نموها عندما يزداد تركيز هذا الغاز في الغلاف الجوي.

كيف يمكن للعلماء أن يقيسوا بدقة استجابة النظم البيئية البحرية لعملية ازدياد حموضة المياه البحرية؟ إن معظم الجهود الحالية في هذا السياق تتركز على إجراء تجارب مختبرية لمدة قصيرة وعلى نوع واحد من الكائنات. إضافة إلى ذلك أجرى العلماء دراسات ميدانية محدودة لاختبار التأثيرات القاسية التي يمكن أن ترافق التخلص (بواسطة البشر) من ثنائي أكسيد

بدأ العديد من الشعاب المرجانية مرحلة الانحدار، وقد يؤدي ازدياد حموضة مياه المحيطات إلى دفع بعض هذه الشعاب إلى الانقراض.

الكربون الجوي في مياه البحر العميقة، وهذه هي إحدى الاستراتيجيات المختلفة التي فُكّر بها لعزل ثنائي أكسيد الكربون بعيدا عن الغلاف الجوي [انظر: «*هل يمكننا دفن الاحترار العالمي؟*»، **العلوم**، العددان 11/10(2005)، ص 44]. ومع أنّ هذا العمل غني بالمعلومات، فالنتائج لم تترجم بسهولة إلى فهم عواقب التعرّض الطويل الأجل إلى رقم هدروجيني منخفض قليلا. كما أنّه ليس صحيحا أن نعمم الدراسات المختبرية على كامل النظم البيئية، حيث تتفاعل كائنات حية مختلفة كثيرة.

وإحدى الإمكانيات لبلوغ تقييم أكثر واقعية للمشكلة، يكون في رفع مستويات ثنائي أكسيد الكربون بصورة صنعية لمدة أشهر وسنين في رقعة من المحيط أو في رصيف مرجاني. إنّ التجارب المتعلقة بتغيير مستويات ثنائي أكسيد الكربون على مدى واسع قد تم تنفيذها بصورة عامة على اليابسة، ويقوم حاليا علماء بحار ومهندسون باستكشاف طريقة عملية (لوجيستية) لتوسيع هذا النهج على المحيطات. أمّا التكتيك الآخر فيكمن في دراسة كيفية تكيّف الكائنات الحية في المناطق التي كانت لمدة طويلة معرضة إلى رقم هدروجيني منخفض، مثل جزر گالاباگوس المحاطة بمياه غنية، بصورة طبيعية، بثنائي أكسيد الكربون.

ومع ذلك فالاستراتيجية الثالثة تكمن في دراسة السجل الجيولوجي لأزمنة وصلت فيها تراكيز ثنائي أكسيد الكربون إلى مستويات أعلى ممّا هي عليه حاليا عندما كان الرقم الهدروجيني، على الأرجح، أدنى ـ مثلا خلال فترة المناخ الدافئ الشاذ التي حدثت قبل نحو 55 مليون سنة (فترة الحرارة العظمى الباليوسينية-الايوسينية)، حينما انقرض الكثير من الكائنات الحية البحرية. وفي الوقت الحاضر يكمن قلق الكثير من العلماء في أنّ الزيادة الحالية في حموضة المحيطات تحدث بسرعة أكبر مما كانت عليه من قبل، لدرجة لم تترك للأنواع البحرية الوقت الكافي للتكيّف معها. ومع أنّ التأثيرات قد تكون خفية، فإن التغيّرات المثيرة في البيئة البحرية قد يتعذر تجنبها على ما يبدو. ■

المؤلف

Scott C. Doney

أستاذ في قسم كيمياء وجيوكيمياء البحار بمعهد وودز هول لعلوم البحار. وقد بدأ دراساته في علوم البحار عندما كان طالبا في مرحلة البكالوريوس بجامعة كاليفورنيا ـ سان دييگو، إلى أن حصل على شهادة الدكتوراه في كيمياء البحار عام 1991 بعد أن أنهى برنامجا مشتركا بين معهد ماساتشوستس التقاني ومعهد وودز هول لعلوم البحار. وتعد خدماته في الفريق العلمي لرصد الكربون المداري في الوكالة ناسا واحدا من نشاطاته المميزة. وهو رئيس مجموعة التوجيه العلمي لدراسة التغير المناخي وكربون البحار التي تعتبر جزءا من البرنامج الأمريكي لأبحاث التغيرات العالمية.

مراجع للاستزادة

Anthropogenic Carbon and Ocean pH. Ken Caldeira and Michael E. Wickett in *Nature*, Vol. 425, page 365; September 25, 2003.

Anthropogenic Ocean Acidification over the Twenty-First Century and Its Impact on Calcifying Organisms. James C. Orr et al. in *Nature*, Vol. 437, pages 681–686; September 29, 2005.

Ocean Acidification Due to Increasing Atmospheric Carbon Dioxide. Royal Society, 2005. Available at www.royalsoc.ac.uk/displaypagedoc.asp?id=13314

Scientific American, June 2006

جزيئات خضراء (صديقة للبيئة)(*)

اخترع الكيميائيون مجموعة جديدة من الحفازات يمكنها تدمير بعض أسوأ الملوثات قبل دخولها البيئة.

<T. J. كولِّينز> ـ <Ch. والتر>

لم تعد الأسماك التي تعيش في نهر أناكوستيا الذي يتدفق في قلب واشنطن العاصمة تستمتع كثيرا بمياهه. فهذا النهر ملوث ببقايا جزيئية من الأصبغة والپلاستيك والأسفلت ومبيدات الهوام(1). فقد بينت الاختبارات الحديثة أن ما يصل إلى 68 في المئة من أسماك السلور القدِّي البنّية(2) التي تعيش فيه مصابة بسرطان الكبد. ولذلك أوصى المسؤولون عن الحياة البرية بأن تعاد الأسماك التي يجري اصطيادها إلى النهر من دون أكلها، كما منعت السباحة فيه.

ويعد الأناكوستيا واحدا من عشرات الأنهار الشديدة التلوث في الولايات المتحدة. وتطرح صناعة النسيج وحدها 53 بليون گالون من الفضلات السائلة ـ المحملة بالأصبغة التفاعلية ومواد كيميائية خطرة أخرى ـ في الأنهار ومجاري المياه الأمريكية كل عام. وقد أخذت أصناف جديدة من الملوثات تظهر في مياه الشرب في البلاد، وتتمثل في آثار من الأدوية ومبيدات الهوام ومواد التجميل وحتى هرمونات تحديد النسل [*انظر الشكل في الصفحة 48*]. وتكون كميات هذه المواد، في الغالب، لامتناهية في الصغر وتقاس بالأجزاء في البليون أو الأجزاء في التريليون (يعادل الجزء في البليون تقريبا حبة من الملح مذابة في حوض سباحة)، ومع ذلك يظن العلماء أن حتى هذه الكميات الضئيلة من بعض الملوثات يمكنها أن تفسد الكيمياء الحيوية النمائية التي تحدد السلوك البشري والذكاء والمناعة والتكاثر.

ولحسن الحظ فإن تباشير المساعدة بدأت تلوح في الأفق. ففي العقد الماضي، بدأ الباحثون في مجال الكيمياء الخضراء الحديث العهد بالتخطيط لاستبعاد أخطار المنتجات الكيميائية ومعالجاتها. وقدم هؤلاء العلماء صيغا لبدائل أكثر أمانا لما هو مضر من الدهانات والپلاستيك واخترعوا تقنيات تصنيع جديدة تقلل من طرح الملوثات في البيئة. وتبين مؤسسة الكيمياء الخضراء المتفرعة من الجمعية الكيميائية الأمريكية أن المبدأ الأول لهذه الجماعة من الباحثين هو: «إنّ منع النفايات أفضل من معالجتها أو استبعادها بعد تكونها.» وفي سياق هذا الجهد، قدم الباحثون كذلك اكتشافات تبشر بطرائق منخفضة التكلفة لإزالة العديد من الملوثات المستديمة من النفايات السائلة.

ونورد مثالا على هذا العمل، ما قام به الباحثون في مؤسسة كيمياء الأكسدة الخضراء التابعة لجامعة ميلون كارنيگي [أحدنا (كولنز) هو مدير هذه المؤسسة] من تطوير مجموعة من الجزيئات المحفزة المصممة تدعى ـ لجينة حلقية ماكروية (كبرية) رباعية الأميدو (TAML)(3)، وهي منشطات تعمل مع بيروكسيد الهدروجين(4) وبعض المؤكسدات الأخرى على تفكيك تشكيلة متنوعة من الملوثات العنيدة. وتنجز اللجائن TAMLs تلك المهمة عن طريق محاكاة الدور الذي تقوم به الإنزيمات التي تطلقها أجسامنا مع مرور الوقت لمقاومة المركّبات السامة. وبرهنت اللجائن TAMLs، في المختبر وفي التجارب الميدانية، أنها تستطيع تدمير مواد خطرة مثل مبيدات الهوام والأصبغة وملوثات أخرى، مخفضة بذلك إلى درجة كبيرة رائحة ولون النفايات السائلة التي تطرحها معامل الورق وقاتلة بذلك الأبواغ البكتيرية الشبيهة بسلالة بكتيرة الجمرة الخبيثة المميتة. ويمكن إذا ما جرى تبني اللجائن TAMLs هذه على نطاق واسع توفير ملايين الدولارات التي تنفق على التنظيف. إضافة إلى ذلك، فإن هذا النوع من الأبحاث يوضح أن بإمكان الكيمياء الخضراء تخفيض بعض الدمار البيئي الذي تسببه الكيمياء التقليدية.

نظرة إجمالية/ حفازات تساعد على عمليات التنظيف(**)

- **أصبحت الملوثات العديدة التي تطرح في مجاري المياه، مثل الأصبغة ومبيدات الهوام، موجودة في كل مكان، ومن ثم أخذت تشكل تهديدا جديا لصحة البشر.**
- **اخترع الكيميائيون حديثا حفازات تشبه الإنزيمات، وهي منشطات مكونة من لجائن ligands حلقية ماكروية رباعية الأميدو (اختصارا TAMLs) يمكنها تدمير الملوثات المعندة بتسريع تفاعلات التنظيف مع بيروكسيد الهدروجين.**
- **عندما أضيفت الحفازات TAMLs إلى نفايات المياه الناتجة من مصانع عجينة الورق قامت بتخفيض محتواها من الكيميائيات الخطرة والمسببة للتلون. ويمكن مستقبلا استعمال هذه الحفازات لتعقيم مياه الشرب والتصدي للتلوث الذي قد يحدثه هجوم إرهابي بيولوجي.**

الحاجة إلى أن نكون خضراً(***)

إن السبب الأساسي لتصعيدنا المشكلة

(*) LITTLE GREEN MOLECULES
(**) Overview/ Catalysts for Cleaning
(***) The Need to Be Green: أي أن نكون من حماة البيئة.
(1) pesticides
(2) brown bullhead catfish
(3) tetraamido macrocylic ligand، واللجينة (أو الربيطة) ligand هي جزيء يتحكم في جزيء آخر، وجمعها لجائن.
(4) أو فوق أكسيد الهدروجين أو الماء الأكسجيني.
(التحرير)

التحكم في التلوث: حفازات تدعى TAMLs (الأخضر) تعمل مع بيروكسيد الهدروجين (الأزرق) لتحطيم الكلوروفينولات (البني) التي تلوث مياه المجاري الواردة من مصادر صناعية عديدة.

البيئية هو أن الناس يمارسون الكيمياء بطرائق تختلف عن تلك التي تمارسها الطبيعة: إذ ركز تطور العمليات البيوكيميائية عبر الزمن بشكل رئيسي على استعمال العناصر المتوافرة والقريبة التناول ـ مثل الكربون والهدروجين والأكسجين والنتروجين والكبريت والكالسيوم والحديد ـ لتكوين كل شيء، من البارامسيوم[1] إلى **شجرة السكويه**[2] redwood ومن **سمكة المهرج** clown fish إلى الإنسان. أما صناعاتنا فإنها على العكس من ذلك، تقوم بجمع العناصر من كل بقعة من بقاع الأرض وتوزعها بطرائق لا يمكن للعمليات الطبيعية أن تقوم بها. فعلى سبيل المثال، من المعروف أن الرصاص يوجد غالبا في توضعات معزولة ونائية بحيث لم تضمّنه الطبيعة قط في الكائنات الحية. أما اليوم فالرصاص منتشر في كل مكان، ويعود سبب ذلك بشكل رئيسي إلى أن صناعات الدهان والسيارات والحواسيب قد أسهمت في نشره. وعندما يجد الرصاص طريقة للانتقال إلى الأطفال يصيبهم بسمية شديدة حتى في الجرعات الصغيرة جدا. وينطبق الأمر ذاته على الزرنيخ والكادميوم والزئبق واليورانيوم والبلوتونيوم. فهذه العناصر هي ملوثات مستديمة لا تتفكك في أجسام الحيوانات ولا في البيئة ـ لذلك تبرز الحاجة الملحة إلى إيجاد بدائل أكثر أمانا.

الكيمياء الخضراء (صديقة البيئة) تستطيع تخفيف بعض المضار البيئية التي تسببها الكيمياء التقليدية.

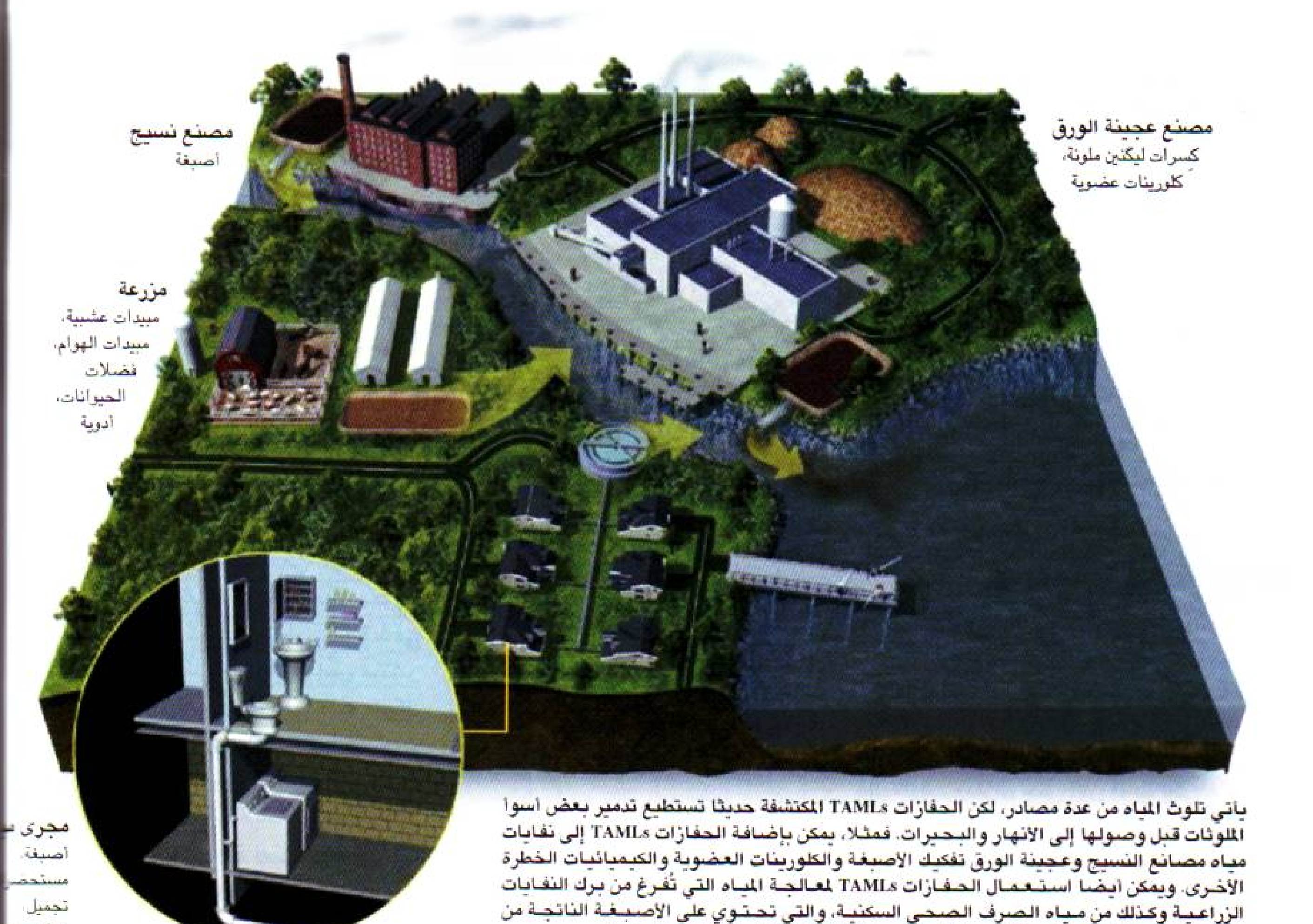
تختلف بعض الجزيئات التركيبية الجديدة في الأدوية والپلاستيك ومبيدات الهوام عن منتجات الكيمياء في الطبيعة إلى درجة تبدو فيها تلك الجزيئات كما لو أنها سقطت علينا من عالم خارجي. فالعديد من هذه الجزيئات لا يتفكك بسهولة، حتى ما كان منها **بيولوجي التدرّك (التقوض)** biodegradable، صار موجودا أينما نظرت بسبب إفراطنا في استعماله. وتبين الأبحاث الحديثة أن بعض هذه المواد يمكن أن يتدخل في **التعبير الطبيعي** normal expression للجينات ذات الصلة بتطور جهاز التناسل الذكوري. فمن المعروف لدى العلماء منذ بضع سنوات، أن التعرض السابق للولادة لمادة **الفثالات** phthalates، وهي مركَّبات تستعمل في الپلاستيك ومستحضرات التجميل، يمكن أن يحدث تغييرا في الجهاز التناسلي لذكور القوارض الحديثة الولادة. وفي عام 2005 بينت <Sh. سوان> [من كلية الطب وطب الأسنان في جامعة روشستر] تأثيرات مشابهة في أطفال ذكور. وفي دراسة أخرى ترأستها <سوان> تبيّن أن الذكور الذين يعانون انخفاضا في تعداد النطاف والذين يعيشون في المناطق الريفية الزراعية بولاية ميسوري لديهم مستويات مرتفعة من مبيدات الأعشاب (مثل الآلاكلور والأترازين) في البول. فإذا ما بدأنا من معاملنا ومزارعنا وصرفنا الصحي نجد أن الملوثات المستديمة يمكن أن تجول، محافظة على بنيتها، في الهواء والماء وعبر السلسلة الغذائية لتعود مباشرة إلينا في معظم الأحيان.

ويقوم الكيميائيون الخضر في الجامعات والشركات، بهدف مواجهة هذا التحدي، بالبحث في جدوى إيجاد بدائل أكثر صداقة للبيئة تحل محل أكثر المنتجات وعمليات التصنيع سمية [*انظر الإطار في الصفحة 50*]. تعود بداية العمل الذي قام به فريق <كولينز> [في كارنيگي ميلون] إلى الثمانينات، عندما كان القلق من تأثير الكلور في الصحة العامة يتعاظم. وكان الكلور في ذلك الوقت ومازال حتى الآن المادة التي غالبا ما تستعمل في عمليات التنظيف والتعقيم التي تُجرى على نطاق واسع في التصنيع، وكذلك في معالجة مياه الشرب. ومع أن المعالجة بالكلور رخيصة وفعالة، فإن بإمكانها تكوين بعض الملوثات الشديدة. لقد كان استعمال الكلور بشكله العنصري في مصانع الورق لتبييض عجينة الورق المصدر الرئيسي للديوكسينات المسببة للسرطان إلى أن منعت وكالة حماية البيئة هذه العملية في عام 2001. (نشير إلى أن معظم المصانع تبيِّض حاليا عجينة الورق بثنائي أكسيد الكلور الذي يخفض توليد الديوكسينات من دون أن يوقفه.) وكذلك جرى ربط بعض المنتجات الثانوية الناجمة عن كلورة ماء الشرب ببعض أنواع السرطان. أما الكلور بشكله الشائع في الطبيعة ـ أيونات الكلوريد أو أملاح منحلة في الماء ـ فإنه غير سام، ولكن عندما يتفاعل الكلور العنصري مع جزيئات أخرى يمكن أن يشكل مركبات تستطيع أن تفسد الكيمياء الحيوية للحيوانات الحية. فمثلا، تعيق الديوكسينات التنامي الخلوي بتدخلها في منظومة استقبال تنظم إنتاج پروتينات أساسية.

ونتساءل هل يمكن استعمال عوامل التنظيف التي تعتمدها البيئة (بيروكسيد

(١) paramecium

(٢) شجر حرجي من الفصيلة الصنوبرية قد يصل طوله الى ثلاثمئة قدم. (التحرير)



يأتي تلوث المياه من عدة مصادر، لكن الحفازات TAMLs المكتشفة حديثا تستطيع تدمير بعض أسوأ الملوثات قبل وصولها إلى الأنهار والبحيرات. فمثلا، يمكن بإضافة الحفازات TAMLs إلى نفايات مياه مصانع النسيج وعجينة الورق تفكيك الأصبغة والكلورينات العضوية والكيميائيات الخطرة الأخرى. ويمكن أيضا استعمال الحفازات TAMLs لمعالجة المياه التي تُفرغ من برك النفايات الزراعية وكذلك من مياه الصرف الصحي السكنية، والتي تحتوي على الأصبغة الناتجة من استعمال آلات الغسيل وعلى آثار من المواد الصيدلانية الضارة التي تفرز في بول البشر.

تعمل الحفازات سواء كانت طبيعية أو من صنع الإنسان عمل الخاطبات في بعض المجتمعات القديمة.

الهدروجين والأكسجين) في تنقية المياه وتخفيض النفايات الصناعية بدل الاعتماد على الكلور. بالتأكيد، يمكن أن يؤدي استعمال مادتي التنظيف هاتين كليا وبأمان وقوة إلى منع تشكل العديد من الملوثات، ولكن في الطبيعة تتطلب هذه العملية وجود إنزيم[1]. تقوم الحفازات سواء كانت طبيعية أو من صنع الإنسان بدور الخاطبات في بعض المجتمعات القديمة، إلا أنها بدل الجمع بين زوجين من البشر، توحد بين جزيئات معينة مؤدية بذلك إلى تمكين وتسريع حدوث التفاعل بين تلك الجزيئات. ويمكن لبعض الأنواع من الحفازات الطبيعية أن تزيد سرعة حدوث التفاعل بليون ضعف. فلولا وجود إنزيم البتايلين[2] في لُعَابنا لوجب انقضاء أسابيع قبل أن يتمكن جسمنا من «تكسير» المعكرونة وتحويلها إلى السكاكر[3] المكونة لها. ولولا وجود الإنزيمات لكانت حركة الكيمياء الحيوية تجري بمعدل بطيء أشد البطء، ومن ثم لاستحال وجود الحياة بالشكل الذي هي عليه.

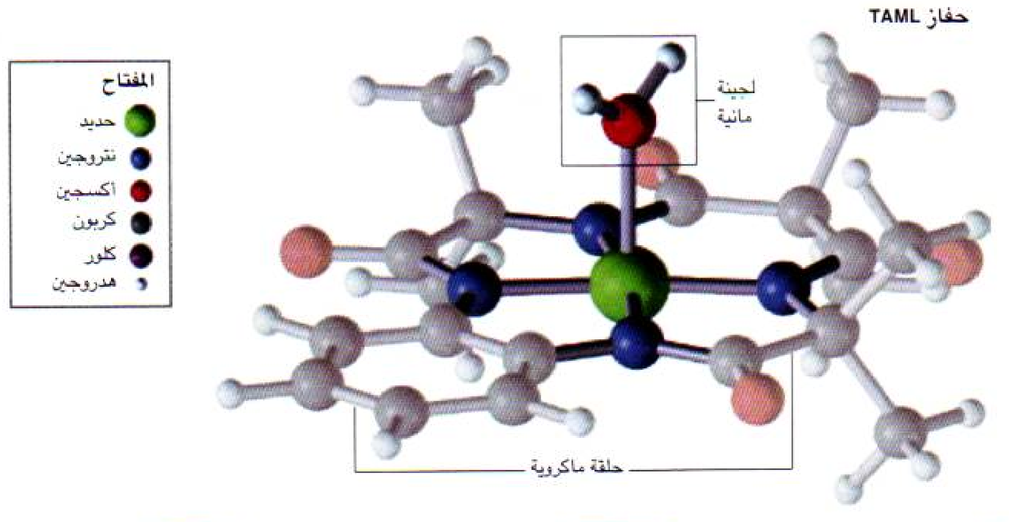
وفي الطبيعة يتم استخدام الإنزيمات المسماة بيروكسيدازات في تحفيز التفاعلات التي يدخل فيها بيروكسيد الهدروجين، وهو المادة الكيميائية المألوفة منزليا والمستعملة في صبغ الشعر وإزالة البقع عن السجاد. وتوظف الفطور التي تنمو حول جذوع الأشجار العفنة في الغابات، البيروكسيداز لتحطيم پوليميرات **الليكنين** lignin الموجودة في الخشب فتنشطر الجزيئات الكبيرة متحولة إلى جزيئات أصغر يستطيع الفطر أكلها. وتوجد أيضا عائلة أخرى من الإنزيمات تسمى السيتوكرومات p450s تحفز التفاعلات التي يدخل فيها الأكسجين (تسمى أيضا تفاعلات الأكسدة). يستعمل هذا الحفاز الموجود في كبد الإنسان الأكسجين لتخريب عدد كبير من الجزيئات السامة الداخلة عن طريق التنفس أو الطعام بفعالية وكفاءة كبيرتين.

ومنذ عقود يجهد الكيميائيون في بناء جزيئات تركيبية (صنعية) صغيرة يمكنها أن تضاهي تلك الإنزيمات المذهلة. وعندما يتمكن العلماء من إيجاد هذه الجزيئات المصممة التي تمتلك قدرة محفزة قوية، يصبح بإمكانهم الاستغناء عن تقانات الأكسدة القائمة على الكلور أو ذات الأساس المعدني التي تولد الكثير من الملوثات. وفي أوائل الثمانينات، لم يكن الحظ قد حالف أحدا لتطوير نسخ من هذه الإنزيمات في المختبرات؛ أما الطبيعة فقد قامت على مدار بلايين السنين من التطور بوضع ألحان بعض الرقصات المحفزة الشديدة التعقيد والرائعة الأناقة، جاعلة جهودنا في المختبر تبدو

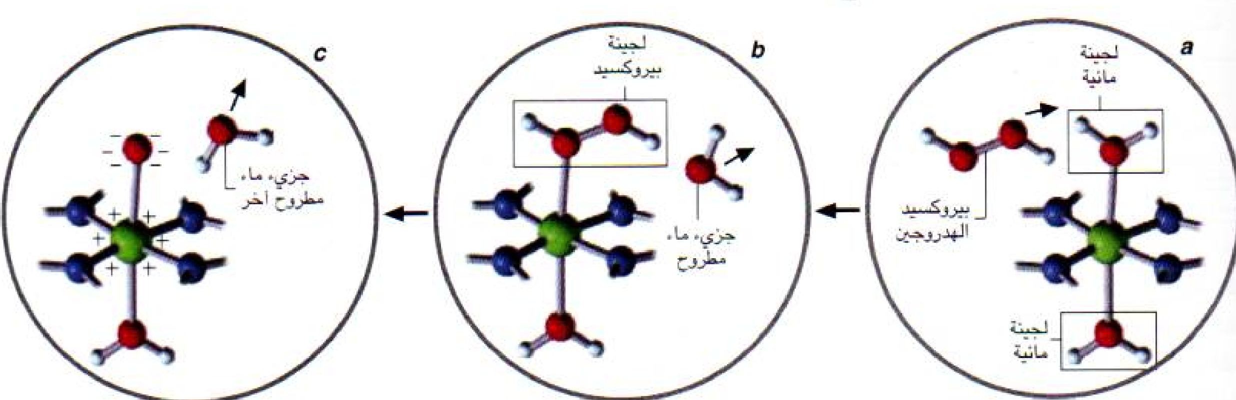
(1) بمعنى حفاز كيميائي حيوي يزيد بمقدار كبير سرعة التفاعل.
(2) ptyalin
(3) sugars

آلة غسيل جزيئية[*]

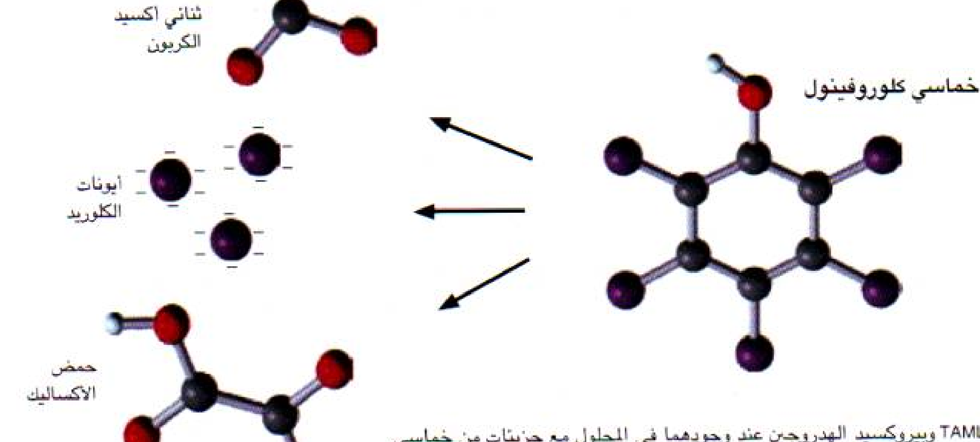
صمم الكيميائيون حفازات TAMLs تقلّد الإنزيمات الطبيعية التي تحفز تفاعلات يدخل فيها بيروكسيد الهدروجين. ولكن الحفازات TAMLs أصغر بمئات المرات من الإنزيمات، مما يجعلها أرخص وأسهل تصنيعا.



يوجد في مركز كل الحفازات TAMLs ذرة حديد ترتبط بأربع ذرات نتروجين، ويوجد عند الحافة حلقات كربونية يتصل بعضها ببعض مشكلا حلقة خارجية كبيرة تدعى حلقة ماكروية (كبرية). ويقوم نظام الوصل هذا بدور جدار ناري مكسبا الجزيء القدرة على تحمل التفاعلات العنيفة التي يطلقها. يمتلك الحفاز TAML في حالته الصلبة أيضا جزيء ماء (H_2O) متصلا بذرة الحديد (الزمر المتصلة تدعى لجائن ligands).



عندما يذوب جزيء TAML في الماء يرتبط جزيء H_2O آخر بالحفاز (a). وإذا وجد بيروكسيد الهدروجين في المحلول أيضا، فإنه يحل جزيء منه محل إحدى اللجائن المائية ذات الاتصال الضعيف فتطرح بسهولة (b). وعندئذ تتخلى لجينة البيروكسيد عن ذرتي الهدروجين التابعتين لها وذرة أكسجين على شكل جزيء ماء، مخلفة ذرة أكسجين واحدة متصلة بالحديد (c). يسحب الأكسجين الإلكترونات باتجاه أبعد عن ذرة الحديد جاعلا الحفاز TAML مركبا وسطا فعالا.



يقوم الحفاز TAML وبيروكسيد الهدروجين عند وجودهما في المحلول مع جزيئات من خماسي كلوروفينول ـ مادة كيميائية سامة تستعمل في معالجة الخشب ـ بتحطيم الملوث وتحويله إلى مركبات وأيونات غير سامة. تمكن الشحنة الموجبة القوية الموجودة على ذرة الحديد الحفاز من تحطيم الملوثات، علما بأن العلماء لم يتمكنوا حتى الآن من معرفة تفاصيل عملية التحطيم.

A Molecular Cleaning Machine (*)

الكيمياء تتحول إلى خضراء(*)

يعد اختراع الحفازات TAMLs واحدا من إنجازات الكيمياء الخضراء العديدة، التي تبذل جميع إمكاناتها في تطوير منتجات وعمليات تصنيع تخفف أو تزيل استعمال أو توليد المواد الخطرة. ونورد فيما يلي بعض هذه الإنجازات:

المشروع	المشاركون	الوضع
استعمال السكر الموجود في النباتات لصنع حموض البولي لاكتيك (PLAs)، وهي زمرة من البوليميرات المتفككة حيويا يمكنها أن تحل محل البلاستيك المشتق من النفط.	<P. كروبر>، <R. L. هوارد>، <J. J. كولستاد>، <C. M. راين>، <R. C. بوب> [الشركة نيتشروركس LLC (فرع من كارگيل)].	بنت الشركة نيتشروركس مصنعا في نبراسكا لتصنيع حبيبات PLA التي تستعمل في تصنيع قوارير تعبئة المياه ومواد التغليف ومنتجات أخرى.
اكتشاف تفاعلات تصنيع يمكن عند تطبيقها في الإنتاج استعمال الماء بدلا من العديد من المذيبات العضوية التي قد يسبب بعضها السرطان.	<Ch. جان لي>، جامعة ماكگيل.	تدرس شركات الأدوية وشركات الكيميائيات السلعية عمليات التصنيع.
تطوير كيمياء الاستبدال للوصول إلى طرائق تركيب عضوية تنتج الأدوية والبلاستيك وكيميائيات أخرى بكفاءة أكبر ونفايات أقل.	<R. H. كربس> [مؤسسة كاليفورنيا للتقانة]، <R. R. شروك> [مؤسسة ماساشوسيتس للتقانة]، <U. شوفين> [المؤسسة الفرنسية للنفط].	هذا النوع من الأبحاث مطبق على نطاق واسع في الصناعات الكيميائية والتقانة الحيوية والصناعات الغذائية، وفي عام 2005 حصل على جائزة نوبل في الكيمياء.
الاستعاضة عن المذيبات ذات الأساس النفطي السامة بثنائي أكسيد الكربون فوق الحرج - وهو مائع في درجة حرارة وضغط عاليين ويتصف بخواص السوائل والغازات معا.	<M. بولاكوف>، <M. جورج>، <S. هاودل> [جامعة نوتنگهام في إنكلترا].	<Th. سوان> وشركاه، شركة تصنيع بريطانية مختصة بإنتاج الكيميائيات ذات الأغراض الخاصة، شيدت مصنعا يقوم على استعمال الموائع فوق الحرجة.
اختراع طريقة جديدة لإنتاج سيرترالين، المكون الرئيسي في تصنيع مضاد الاكتئاب زولوفت.	<J. سبافين> و<J. تابر> و<J. كولبيرگ> و<D. فيزتيرر> [الشركة فايزر].	هذه العملية الصناعية تُخفض التلوث وكذلك الطاقة والماء اللازمين، في حين تحسن من أمان العمال ومردود الإنتاج

أمامها ضئيلة. ومع ذلك فإننا ندرك عدم إمكان تحقيق هدفنا في تخفيض التلوث ما لم نجد طريقة لتقليد هذه الرقصات الجزيئية.

المحولات المحفّزة(**)

وكذلك فإن تكوين الإنزيمات التركيبية يعني تجميع جزيئات يمكنها أن تصمد، بحيث تستطيع مقاومة التفاعلات الإتلافية التي يتم تحفيزها. فكل العمليات التي يشارك فيها الأكسجين يمكن أن تكون تخريبية، لأن الروابط التي يرتبط بها مع العناصر الأخرى (وبخاصة الهدروجين) قوية جدا. كما يعد بيروكسيد الهدروجين (H_2O_2) مؤكسدا قويا، لأن كل جزيء من جزيئاته يقع في موقع وسط ما بين الماء (H_2O) والأكسجين الجزيئي (O_2). ونشير إلى أنه غالبا ما يولد بيروكسيد الهدروجين في الماء نوعا من النار السائلة تدمر جميع الجزيئات العضوية (تحتوي على الكربون) التي حولها. وتوضح بنية الإنزيمات أن الحصول على حفّاز قادر على العمل ربما يلزمه وضع ذرة من الحديد داخل مصفوفة جزيئية من الزمر العضوية، أي يجب أن نقوي البنيان المعماري الجزيئي لمثل هذه الزمر لتتمكن من تحمل النار السائلة الناتجة من تنشيط بيروكسيد الهدروجين.

وباستفادتنا مما صممته الطبيعة في هذا المجال، توصلنا في نهاية المطاف إلى حل هذه المسألة بتصنيع حفاز تتوضع فيه ذرة مفردة من الحديد في وسط مربع تقع على رؤوسه أربع ذرات من النتروجين [*انظر الإطار في الصفحة 49*]. ترتبط ذرات النتروجين بذرة الحديد الأكبر بكثير منها بروابط تكافئية، بمعنى التشارك في زوجين من الإلكترونات. وفي مثل هذه البنية، تسمى الذرات الأصغر والزمر المرتبطة المحيطة بذرة المعدن المركزية **لجائن** legands. وقمنا بعد ذلك بوصل اللجائن لتشكيل حلقة خارجية كبيرة سميناها **الحلقة الماكروية (الكبرية)** macrocycle. وبمرور الوقت تعلمنا كيف نجعل اللجائن ومنظومات الوصل ذات قوة كافية لتحمل التفاعلات العنيفة التي تقدمها اللجائن TAMLs. أما في الواقع، فإن اللجائن التي ابتكرناها تقوم بدور جدار ناري يقاوم النار السائلة، وكلما طالت هذه المقاومة ازدادت فائدة الحفاز. ولم نكن نرغب طبعا في أن نخترع حفازا غير قابل للتخرب، فينتهي به المطاف في المسيلات المائية المتدفقة في البيئة، وهذا قد يؤدي إلى خلق مشكلة تلوث خاصة به. إن جميع حفازاتنا TAMLs الحديدية الحالية (في هذه الحفازات يمثل الحديد ذرة المعدن المركزية) تتفكك في فترة زمنية ما بين دقائق وساعات.

إن بناء جدران نارية من اللجائن لم يكن عملا سهلا، إذ تطلب تطويرُ دورة تصميم مرهقة ذات أربع مراحل: أولا، بدأنا بتخيل وتصنيع بنى لجينية يؤمل منها أن تستطيع الحفاظ على ديمومة الجدار الناري. ثانيا، أخضعنا الحفاز إلى إجهاد تأكسدي استمر إلى أن تخرب الجدار الناري. ثالثا، فتشنا بدقة عن الموقع الذي بدأ فيه حدوث التقويض (وجدنا أن التقويض اللجيني كان يبدأ دائما عند أكثر المواقع ضعفا). وأخيرا، بعد أن حددنا الوصلة الأضعف استبدلنا بها مجموعة من الذرات نعتقد أنها ستتحمل مدة أطول وبعدها بدأنا من جديد كامل دورة التصميم.

(*) Chemistry Goes Green
(**) Catalytic Converters

وأخيرا بعد 15 سنة من العمل ابتدعنا أول لجينة TAML قادرة على العمل. فلقد عرفنا في صباح أحد الأيام أننا نجحنا وذلك عندما قام <C. هورويتز> [وهو أستاذ باحث في مؤسستنا] بعرض نتائج تجربة **التبييض** bleaching باستخدام أفضل ما كنا صممناه في ذلك الوقت. وفحصنا النتائج وكان الأمر جليا، فكلما رش <هورويتز> صباغا قاتما في محلول يحتوي على الحفاز TAML وبيروكسيد الهدروجين يصير المحلول بسرعة عديم اللون. لقد عرفنا حينها أن جدراننا النارية صارت أخيرا قادرة على التحمل فترة تكفي للسماح للحفاز TAML بالقيام بعمله. لقد نجحت هذه الجزيئات في أداء دور الإنزيمات، مع أنها كانت أصغر بكثير جدا: يبلغ الوزن الجزيئي للحفاز TAML نحو 500 دالتون (يساوي الدالتون الواحد 1/12 من كتلة الكربون 12، وهو أكثر نظائر الكربون وفرة)، في حين يبلغ الوزن الجزيئي لبيروكسيداز الجرجار (فجل حار)، وهو إنزيم صغير نسبيا، نحو 000 40 دالتون. لذلك فإن الحفازات TAMLs الشديدة الصغر أسهل تصنيعا وأرخص وذات فعاليات أكثر تنوعا بكثير من نظيراتها الطبيعية.

ومنذ ذلك الوقت قمنا بتصنيع أكثر من 20 نوعا مختلفا من الحفازات TAMLs بإعادة تطبيق نفس عملية التصميم ذات الأربع مراحل التي مكنتنا من اكتشاف أول نموذج قادر على العمل. ونشير إلى أن كل حفاز TAML يتصف بأنه ذو عمر وسرعة تفاعل خاصين به، وذلك يسمح لنا أن نصنع حفازات وفق المهمات التي نريدها منها. هذا وتتضمن معظم الحفازات عناصر مثل الكربون والهدروجين والأكسجين والنتروجين والحديد، وهي عناصر تم انتقاؤها بسبب سميتها المنخفضة. ونطلق اسم «الحفازات TAMLs الصيادة» على بعض الجزيئات لأنها صُممت لتبحث عن ملوثات أو كائنات مُمْرِضة محددة فتعطلها بنفس الطريقة التي يبحث فيها اللغم المغنطيسي عن الهيكل المعدني للسفينة. وتقوم مركبات TAMLs أخرى بدور مشعل لهبي يحرق بشراسة معظم المواد الكيميائية القابلة للتأكسد والتي توجد متلامسة معه. وهناك مركبات TAMLs أخرى أقل شراسة من سابقتها وأكثر انتقائية بحيث يمكنها مثلا مهاجمة بعض أجزاء الجزيئات فقط أو مهاجمة الجزيئات الأكثر قابلية للتأكسد في المجموعة. ونتوقع أن نهيئ الحفازات TAMLs لتعزيز تقدم الكيمياء الخضراء في العقود القادمة. وتدل النتائج - التي أمكن الحصول عليها حتى الآن، على الرغم من وجوب إجراء المزيد من اختبارات السمية - على أن الحفازات TAMLs تفكك الملوثات وتحولها إلى مكوناتها غير السامة فلا تترك وراءها أي تلوث يمكن كشفه. ونملك اليوم أكثر من 90 براءة اختراع دولية تخص الحفازات TAMLs، وهناك المزيد منها في الطريق. يضاف إلى ذلك ما نملك من تراخيص تجارية عديدة.

ومما يثير الاهتمام، أننا مازلنا لا نعرف جميع تفاصيل الطريقة التي تعمل وفقها الحفازات TAMLs، مع أن دراسات حديثة قدمت استبصارات عميقة عن التفاعلات الأساسية. تحتوي الحفازات TAMLs الحديدية في الحالة الصلبة على جزيء ماء واحد يتصل بذرة الحديد على شكل لجينة، ويتوجه عموديا إلى اللجائن النتروجينية الأربع. وعندما يكون المركب في محلول يرتبط جزيء ماء آخر بالجهة المقابلة لذرة الحديد. وتكون هذه اللجائن المائية ضعيفة الارتباط جدا، بحيث إذا وجد في المحلول كذلك بيروكسيد الهدروجين فإن جزيئا منه يحل بسهولة محل أحد جزيئات الماء. وهنا سرعان ما تستعيد لجينة البيروكسيد ترتيب نفسها طاردة ذرات الهدروجين التابعة لها وذرة أكسجين واحدة (تطرد على شكل H_2O جزيء ماء) مخلفة ذرة أكسجين واحدة مرتبطة بالحديد في مركز المركب TAML الحديدي الذي يدعى عندئذ المركب الانتقالي المتفاعل (RI)[1].

إن الأكسجين أكثر كهرسلبية electronegative بكثير من الحديد، ويعني ذلك أن نواته تجذب معظم الإلكترونات الموجودة في رابطة المعقد باتجاهها بعيدا عن نواة الحديد. فيزيد هذا التأثير الشحنة الموجبة للحديد في مركز الحفاز TAML جاعلا المركب الانتقالي المتفاعل (RI) على درجة من التفاعل كافية لاستخلاص الإلكترونات من الجزيئات القابلة للتأكسد الموجودة في المحلول. لكن لم نستطع بعد معرفة كيف يحطم المركب الانتقالي المتفاعل (RI) الروابط الكيميائية للأهداف التي يهاجمها، إلا أن الأبحاث الجارية قد تعطي قريبا الإجابة. ونحن نعرف أننا نستطيع تعديل قوة الحفاز TAML عن طريق تغيير الذرات الموجودة عند رأس الجزيء وذيله، واضعين عناصر ذات كهرسلبية عالية جدا في هذين الموضعين فتنفرغ شحنة سالبة أكثر من الحديد ويصبح المركب المتفاعل أكثر شراسة.

إن تكوين الحفازات TAMLs في المختبر شيء، ولكن الشيء الأهم هو تجهيزها للاستخدام التجاري.

مصدر القوة الصناعية(*)

إن بناء المركبات TAMLs في المختبر شيء، وتهيئتها لتصبح صالحة للاستعمال التجاري شيء آخر. وتبدو نتائج الفحوص المختبرية والتجارب الميدانية واعدة. فقد بينت الاختبارات التي مولتها مؤسسة العلوم الوطنية أن الحفاز TAML مع البيروكسيدات يمكن أن يزيل التلوث الناجم عن هجوم إرهابي بيولوجي. ووجدنا بالجمع ما بين الحفاز TAML وبيروكسيد هدرو ثالثي البوتيل[2] (نوع آخر من بيروكسيد الهدروجين تُستبدل بإحدى ذرتي الهدروجين فيه ذرة كربون وثلاث زمر ميتيل CH3) أن المحلول الناتج يمكن أن يعطل في 15 دقيقة نحو 99.99999 في المئة من *Bacillus atrophaeus*، وهي نوع من البكتيرات المشابهة جدا للجمرة الخبيثة. ونأمل مستقبلا تحقيق تطبيق محتمل مهم جدا وهو استعمال الحفازات TAMLs الحديدية وبيروكسيد الهدروجين لتوفير معقم رخيص الثمن يستطيع القضاء على الميكروبات المعدية (الخامجة) التي تعيش في المياه والمسؤولة عن الكثير من الأمراض والوفيات في العالم.

لقد قمنا بثلاث تجارب ميدانية لتقصي مدى قدرة الحفازات TAMLs على تخفيف التلوث الناجم عن تصنيع الورق: إذ إن

(*) Industrial Strength
(1) reactive intermediate
(2) tertiatry butyl hydroperoxide

صناعة الورق وعجينة الورق تنتجان سنويا أكثر من 100 مليون طن متري من العجينة المبيضة التي تتحول إلى ورق أبيض. وتطلق عدة مصانع هذه العجينة إضافة إلى الديوكسينات والكلوروفينولات و**الكلورينات العضوية** organochlorines الأخرى، سائلا بلون القهوة يصبغ الجداول والأنهار ويمنع الضوء من التغلغل ضمن المياه. ويؤثر نقص كمية الضوء هذا في التركيب الضوئي، ويؤثر ذلك بدوره في المتعضيات الحية التي تعتمد على النبات في غذائها. وتعود مشكلة التلون إلى وجود كسرات كبيرة ملونة من الليگنين، وهو البوليمير الذي يربط خيوط السيللوز في الخشب. يؤدي التبييض باستعمال ثنائي أكسيد الكلور إلى إزالة الليگنين من السيللوز، فتهضم البكتيرات والمتعضيات الحية الأخرى كسرات الليگنين الصغيرة في أحواض المعالجة، وأما القطع الأكبر فلا يجري أكلها لكبرها وينتهي بها المطاف إلى الأنهار والبحيرات.

قمنا باختبار فعالية الحفازات TAMLs الحديدية في إزالة لون تلك الكسرات في مصنعين لعجينة الورق في الولايات المتحدة ومصنع واحد في نيوزيلندا. وفي نيوزيلندا جمعنا الحفازات TAMLs الحديدية والبيروكسيد مع 000 50 ليتر من الماء المقذوف. أما في الولايات المتحدة فقد حقنا بشكل مباشر الحفازات TAMLs الحديدية في برج معالجة العجينة أو في أنبوب الخروج عدة أيام بغية تبييض النفاية المائية. ووجدنا إجمالا أن الحفازات TAMLs الحديدية خفضت تلون المياه بنحو 78 في المئة وأزالت 28 في المئة من الكلورينات العضوية.

وكذلك يبدو مثيرا تطوير تطبيقات أخرى للحفاز TAML. فقد وجد <E. جايجر> [من منظومات Urethane Soy وهي شركة توجد في الفولگا، جنوب داكوتا] أن الحفازات TAMLs الحديدية تستطيع بشكل ممتاز تحويل زيت فول الصويا إلى بوليميرات مفيدة تتصف بخواص فيزيائية تساوي - إن لم تكن تتفوق على - خواص منتجات البولي يوريتان الراهنة. ويمكن أن تشق الحفازات TAMLs طريقها للاستعمال في الغسالات الآلية: لقد وجدنا في سلسلة أخرى من التجارب أن إضافة كمية قليلة جدا من الحفاز إلى بعض مساحيق الغسيل تلغي الحاجة إلى فصل الملابس البيضاء عن الملونة في عملية الغسيل، لأن الحفازات TAMLs قادرة على منع انتقال اللون، وذلك بمهاجمة ذرات الصباغ عندما تنفصل عن خيوط القماش الملون وقبل أن تلتصق بنسيج القماش الآخر. ونقوم حاليا بالعمل على تطوير جملة جديدة من الحفازات TAMLs قادرة على كسر الروابط الجزيئية المستقرة جدا التي تمكِّن العقاقير والكيميائيات الزراعية من الانتقال من دون تغيير إلى مياه الشرب.

ولكننا لم نستطع حتى الآن، على الرغم من نجاح تلك التجارب، الوصول إلى الإجابة عن جميع الأسئلة التي تتعلق بالحفازات TAMLs؛ إذ يتعين إجراء المزيد من الاختبارات التي تتعلق بالتهيئة الصناعية، إضافة إلى أهمية التأكد من أن الحفازات TAMLs لن تنتج بعض أشكال التلوث التي لم نستطع اكتشافها بعد. فغالبا ما تبدو التقانات الكيميائية سليمة جدا عندما تسوق أول مرة، ولا تصبح عواقبها السلبية المدمرة واضحة إلا بعد مرور عقود من الزمن على استعمالها. ونحن نريد أن نفعل ما بوسعنا لتجنب أي مفاجآت قد تخفيها الحفازات TAMLs.

والتكلفة هي أيضا قضية يجب بحثها. فمع أن الحفازات TAMLs تبدو واعدة في معظم تطبيقاتها، فقد قامت الشركات الكبيرة باستثمارات هائلة في العمليات الكيميائية الصناعية التي تستخدمها حاليا. فالتحول إلى أنظمة وتقنيات جديدة، حتى لو كانت مفيدة، يتطلب استثمارات ليست بالقليلة. ويمكن القول إن إحدى الفوائد العظيمة لتقانة الحفازات TAMLs تتمثل في كونها لا تتطلب تغييرات أساسية في التجهيزات، وأكثر من ذلك فإن الحفازات TAMLs يمكنها في النهاية أن توافر المال على الشركات من خلال تقديمها طريقة منخفضة التكلفة تلبي التزايد المستمر في صرامة القوانين البيئية في الولايات المتحدة وأوروبا وبقية العالم.

إن ما نشهده اليوم من تقدم في الكيمياء الخضراء لا يمثل سوى خطوات على الطريق المؤدي إلى التعامل مع التحديات البيئية للقرن الحادي والعشرين. ويبقى السؤال الأعمق: هل نحن متجهون نحو ممارسة العناية المشددة أم الطب الوقائي؟ في الوقت الحاضر مازال معظم الكيميائيين مدربين على اختراع مركبات أنيقة البنية تستطيع أن تحل المشكلة المحددة التي هندست من أجلها، من دون الأخذ بالحسبان تأثيرها الأوسع. أما نحن فنقوم في الواقع بإنجاز تجارب عالمية النطاق على نُظمنا البيئية وعلى أنفسنا، وإذا ما فشلت هذه التجارب فإن الثمن سيكون كارثيا. وتقدم تقنيات الكيمياء الخضراء الجديدة البديل. لقد تكشفت الثورة الصناعية وتوضحت في معظمها من دون تقديم هدف أو رؤية مستقبلية. وربما يكون بمقدورنا حاليا اتخاذ بعض الخطوات الخلاقة لعكس هذا الاتجاه والمساعدة على صنع عالم ومستقبل يمكن أن نعيش فيه. ■

المؤلفان

Terrence J. Collins - Chip Walter

يعملان معا على تثقيف الجمهور في التحديات والإمكانات التي تمتلكها الكيمياء الخضراء. <كولينز> هو أستاذ توماس لورد في الكيمياء، بجامعة كارنيگي ميلون، وهو مدير مؤسسة كيمياء الأكسدة الخضراء فيها، وهو كذلك أستاذ شرف في جامعة أوكلاند بنيوزيلندا. أما <والتر> فهو صحافي في العلوم ومؤلف كتاب عصر الفضاء، وأنا أعمل على ذلك (مع <W. شاتنر>)، ويدرّس موضوع الكتابة العلمية في جامعة كارنيگي ميلون وهو نائب رئيس الاتصالات في المركز الطبي لجامعة بيتسبرگ.

مراجع للاستزادة

Toward Sustainable Chemistry. Terrence J. Collins in *Science*, Vol. 291, No. 5501, pages 48–49; January 5, 2001.

Rapid Total Destruction of Chlorophenols by Activated Hydrogen Peroxide. Sayam Sen Gupta, Matthew Stadler, Christopher A. Noser, Anindya Ghosh, Bradley Steinhoff, Dieter Lenoir, Colin P. Horwitz, Karl-Werner Schramm and Terrence J. Collins in *Science*, Vol. 296, pages 326–328; April 12, 2002.

More information can be found online at **www.cmu.edu/greenchemistry** and **www.chemistry.org/portal/a/c/s/1/acsdisplay.html?DOC=greenchemistryinstitute\index.html**

Scientific American, March 2006

تتمة الصفحة 11 (مقاريب المستقبل العملاقة)

محوره. هذا وإن المقاريبَ الحديثة مدعومة بقاعدة أشد تراصًّا تسمى الارتفاع/السمت(1) (يشير هذا المصطلح إلى حركة ذات بعدين بدلا من الدوران البسيط حول المحور). والظرف غير المواتي هنا هو ضرورةُ استعمالِ آلية تَحَكُّمٍ أشدَّ تعقيدا، لكن الحواسيب جعلتها أسهل تناولا. لكنْ حتى بوجود قاعدة الارتفاع/السمت، يتطلب المقراب الذي قطره 100 متر قبة باهظة الثمن. أضف إلى ذلك أنّ المحاكيات الحاسوبيّة توحي بأن كل بنية ضخمة قد تولّد جيبا خاصا من الاضطراب الهوائي. لذا لن يتطلبَ المقراب OWL سوى سقف منزلق ليغطيه خلال النهار أو في الطقس السيئ. وسيعمل المقرابُ في الهواء الطلق، ويستطيع تَحَمُّلَ رياحٍ معتدلة الشدة تصلُ سرعتُها إلى 15 مترا في الثانية (نحو 30 ميلا في الساعة). وفي الحقيقة، يخفض النسيم الثابت الاضطرابَ الهوائيّ.

قد تبلغ تكلفة المقراب OWL، الذي حجمه (أي قطر مرآته الأولية) 100 متر، قرابة 1.2 بليون دولار. أما تكلفة المقراب TMT فتقدر بنحو 700 مليون دولار، وتكلفة المقراب GMT تقدر بنحو 400 مليون دولار. هذا وإن كلَّ مبلغٍ يصل إلى نحو بليون دولار يظلّ أقلّ مما تتطلبه معظم التجارب الفضائية، لكنه يبقى مع ذلك مبلغا كبيرا من المال. ومن المحتمل أن التعاونَ الدوليَّ سيكون ضروريا لتوفيره.

المقراب JWST، المتخصص بالأرصاد تحت الحمراء، قد أُطلق. كما سيكون الصفيف Atacama Large Millimeter Array قد بدأ عمله بدستاتٍ من هوائيات الأطباق(5)، وهذا يمثّل جسرا بين علم الفلك تحت الأحمر وعلم الفلك الراديويّ. وربما يكون الفلكيون عاكفين على بناء المشروع Square Kilometer Array لاكتشاف الموجات الراديويّة المنخفضة الترددّ، وهي منطقة من الطيف الكهرمغنطيسي لم تُكْتَشَفْ إلا بقدرٍ محدودٍ جدا.

بعد إنجاز هذه التقدّمات جميعها، فهل يحتاجُ الفلكيون حقا إلى مقاريبَ ضوئية عملاقة جديدة؟ الجواب هو، وبصوتٍ عالٍ، نعم! فثمة مواضيع علميّة حاسمة لا يمكن التصدّي لحلّها بآلاتٍ صغيرة، مثل: دراسة الكواكب الموجودة خارج المنظومة الشمسية، والمكوّنات الأساسية للنجوم والمجرات. وفيما يتعلق بالضوء المرئي وتحت الأحمر القريب، فإن المقاريب المقامة على الأرض توفر حساسية وميزا عاليين بتكلفة أخفض مما تتطلبه المراصد الفضائية.

إن عملية اختيار مقاربة من المقاربات المختلفة المتجسدة في المقاريب GMT، TMT، OWL ليست بالمهمة السهلة، فلكلٍّ منها ميزاته وعيوبه. وحديثا، توصلت لجنة دولية كُلِّفَتْ بمراجعة مفهوم المقراب OWL إلى أنه عملي، لكنه ينطوي على مجازفة من الناحيتين التقنية والمالية. وحاليا، أعكف مع زملائي، بمساعدة مجموعة كبيرة من الفلكيين، على وضع تصميمٍ مشتركٍ أصغر، ومن المتوقّع صدور قرارٍ بهذا الشأن بحلول نهاية هذا العام. ومن ثَمّ فالمشاريع المختلفة قد تكون متقاربة بعضها من بعض. وبوجه خاص، فإن المقراب TMT ذاته هو نتيجةُ دمجِ عدة تصاميم سابقة.

وعلى مدى قرون، تطوّر كِبَرُ المقاريب التي كانت في البداية بحجم طاولة صغيرة توضع بجانب السرير، ثم صارت بحجم الغرفة، ثم البيت، ثم الكاتدرائية، والآن بحجم ناطحة سحاب. وبفضلِ التقدمات التقانية الحديثة، يمكننا بناء آلاتٍ قادرة على رؤية أول نجومٍ وُلِدَتْ في الكون والكواكبِ المحيطة بنجومٍ أخرى، ومن المحتمل أن يكون ضمنَها كواكبُ شبيهة بأرضنا. ولم يَعُدِ السؤالُ يدور حول قدرتنا على بناء مقاريب عملاقة أو حول سبب رغبتنا في بنائها، إنما السؤال المطروح يتعلق بوقت بنائها وبحجمها. ■

البانوراما الفلكية(*)

كان العقد الماضي عصرا ذهبيا لعلم الفلك، لكننا نتوقع حدوث المزيد من التقدمات حتى عام 2015. فالمكشافات detectors المبتكرة والبصريات التكيفية ستعزز قدرات الجيل الحالي من المقاريب التي تتراوح أقطارها ما بين 8 و 10 أمتار، وهذا يشبه، إلى حد بعيد، ما أضافته آلات التصوير والمطيافات(2) الجديدة من قدرات إلى مقراب هَبل. وستكون آلات قياس التداخل(3) قد تطورت من حيوانات غريبة إلى أحصنة شُغْل تتعقّب أجراما ذات ضوء باهت جدا يصل مَيْزُهَا إلى جزءٍ من مِلّيثانية قوسية(4). وسيكون

(*) The Astronomical Panorama
(1) altitude/azimuth
(2) spectrometers
(3) interferometry
(4) submilliarcsecond
(5) dish antennas

المؤلف

Roberto Gilmozzi

باحث رئيسي في المجموعة التي تعكف على دراسة تصميم المقراب OWL. شغل بين عامي 1999 و 2005 منصبَ مدير المرصد Very Large Telescope Observatory المقام في سيرّو پارانال بجمهورية تشيلي. وتتضمن اهتماماتُه العلميّةُ دراسة المستعرات والمستعرات الأعظمية وبقاياها وإشعاع الخلفية الكونية للأشعة السينية وتاريخ التكوّن النجمي في الكون.

مراجع للاستزادة

OWL Concept Study. R. Gilmozzi and P. Dierickx in *ESO Messenger*, No. 100, pages 1–10; June 2000. Online at **www.eso.org/projects/owl/publications/2000_05_Messenger.htm**

Astrophysical Techniques. Fourth edition. C. R. Kitchin. Taylor & Francis, 2003.

Proceedings of Second Bäckaskog Workshop on Extremely Large Telescopes. Edited by A. L. Ardeberg and T. E. Andersen. *Proceedings of the SPIE*, Vol. 5382; July 2004.

The Light Brigade. Neil deGrasse Tyson in *Natural History*, Vol. 115, No. 2, pages 18–29; March 2006.

Exploring the Cosmic Frontier: Astrophysical Instruments for the 21st Century. ESO Astrophysics Symposia. Springer-Verlag (in press). **www.mpifr-bonn.mpg.de/berlin04/**

Scientific American, May 2006

مجلة العلوم

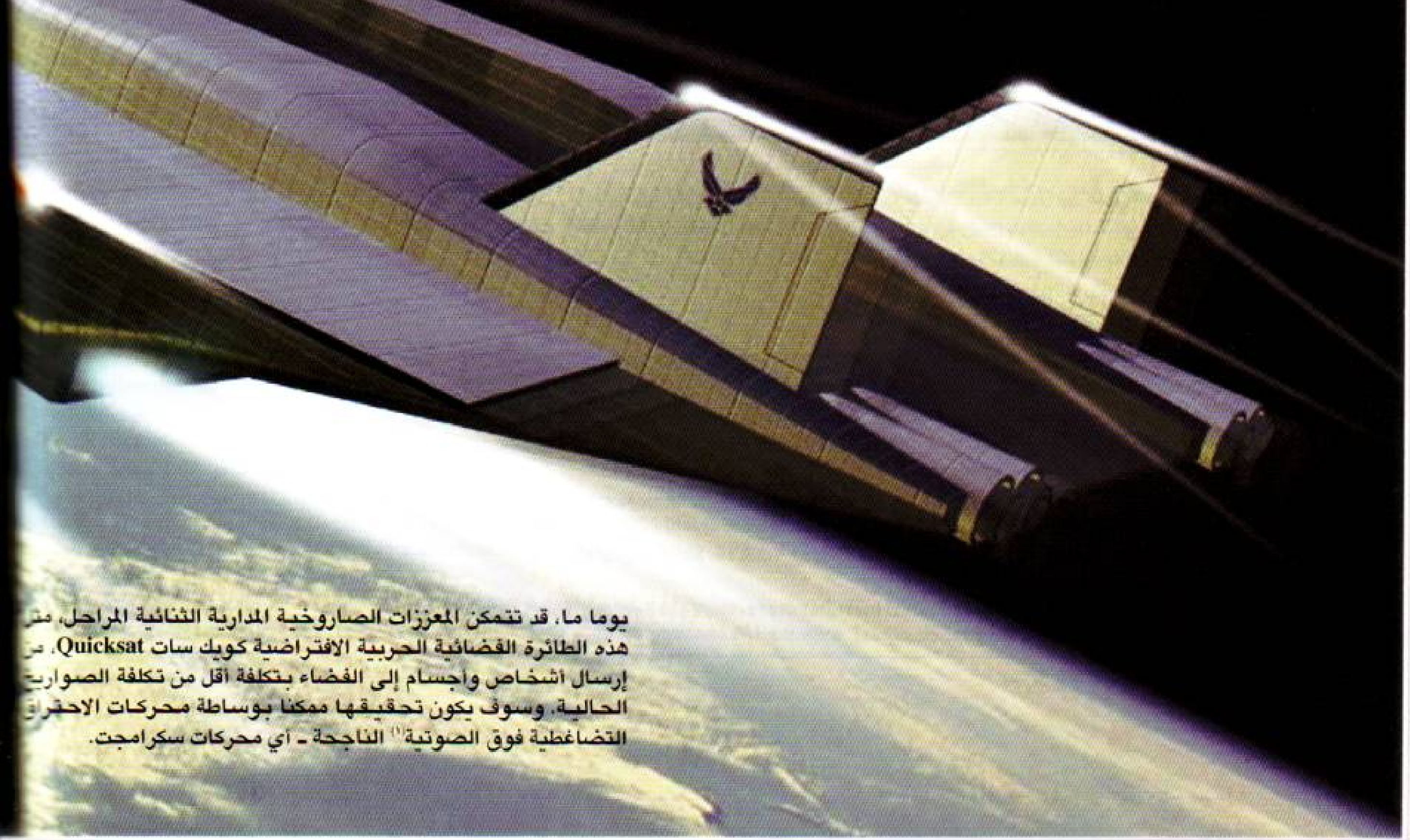
المجلد 22 ـ العدد 10
أكتوبر (تشرين الأول) 2006

Majallat AlOloom

طاقة لدفع طائرة فضائية[*]

إن ابتكار محرك نفاث متطور قادر على دفع طائرة فضائية إلى مدارها بطريقة روتينية وبتكلفة معقولة هي مهمة صعبة، لكنها على ما يبدو قابلة للنجاح.

<Th. A. جاكسون>



يوما ما، قد تتمكن المعززات الصاروخية المدارية الثنائية المراحل، مثـ
هذه الطائرة الفضائية الحربية الافتراضية كويك سات Quicksat، مـ
إرسال أشخاص وأجسام إلى الفضاء بتكلفة أقل من تكلفة الصواري
الحالية. وسوف يكون تحقيقها ممكنا بوساطة محركات الاحترا
التضاغطية فوق الصوتية[1] الناجحة ـ أي محركات سكرامجت.



منذ مدة طويلة، يطمح المهندسون إلى بناء طائرة يمكنها أن تنطلق من مدرج وتحلق عاليا، ثم تعود ثانية إلى الأرض ـ على غرار ما تفعله طائرة لوك سكايووكر Luke Skywalker المقاتلة المتصالبة الجناحين (بشكل الحرف X) في سلسلة أفلام «حرب النجوم». إلا أن أمرا واحدا كان يعترض سبيلهم: إن المحركات النفاثة تحتاج إلى الأكسجين لحرق الوقود، في حين لا يوجد في طبقات الجو العليا كمية كافية منه لاستدامة عملية الاحتراق. لذا فإن الطيران نحو الفضاء يتطلب دفعا صاروخيا لحمل كل من الوقود والمادة المؤكسدة على متن المركبة. وحتى في مكوك الفضاء الذي يعتبر أكثر أنظمة الإطلاق الحالية تطورا، فإن قرابة نصف الوزن عند الإطلاق يكون مخصصا للأكسجين السائل والمادة المؤكسدة الصلبة، اللذين يجب نقلهما إلى الجو لمواصلة عملية احتراق الوقود الصاروخي طوال الرحلة إلى المدار المحدد.

يمكن أن يقدم المحرك النفاث التضاغطي فوق الصوتي (الفوصوتي)[1]، المعروف باسم محرك سكرامجت scramjet، أحد الحلول لهذه المسألة، وهو محرك يمكنه أن يغترف الأكسجين من الغلاف الجوي أثناء مرحلة الصعود. ويعني اختصار بعض الوزن نتيجة سحب الهواء خلال مدة الطيران عوضا عن حمله من الأرض، أن يصبح محرك سكرامجت قادرا على توليد دفع يعادل أربعة أضعاف الدفع الذي يولّده أي صاروخ لكل باوند من وزن وقود الدفع المستهلك. وأخيرا، يبدو أنه أصبح بالإمكان، بعد مضي عقود من التطوير المتواصل، الاعتماد على محركات سكرامجت المستخدمة لمباشرة مرحلة الطيران. ويخطط الباحثون للقيام بين عامي 2007 و 2008 باختبارات حاسمة على الأرض لهذه المحركات بحجمها الطبيعي، فضلا عن عزمهم في عام 2009 على القيام بسلسلة من الاختبارات أثناء الطيران، الهدف منها تحطيم بعض الأرقام القياسية.

وبخلاف الصاروخ الذي يخترق الجو مباشرة نحو المدار، يُفترض أن الطائرة، التي تسيرها محركات سكرامجت، سترتفع في الجو مثل أي طائرة عادية، مستخدمة قوة الرفع التحريكي الهوائي[2] التي يولدها جناحاها وجسمها، وهذا يجعلها أكثر

(*) POWER FOR A SPACE PLANE

(1) supersonic combustion ramjet

(2) aerodynamic lift

قدرة على المناورة وأكثر أمانا (فإذا حدث عطل في محركاتها، فإن المركبة تستطيع الهبوط إلى الأرض من دون الاستعانة بمحركات). ويُفترض أن هذه الطائرة تُقلع من الأرض، وتبلغ سرعات فوق صوتية باستخدام المحركات النفاثة التقليدية (بدايةً السرعات فوق الصوتية هي 1 ماخ، أي 760 ميلا في الساعة عند مستوى سطح البحر). ويُفترض بعدئذ أن تتولى محركات سكرامجت زمام الأمور، وتدفع الطائرة لبلوغ السرعات فوق الصوتية ـ من 5 ماخ إلى 15 ماخ (الحد النظري لأداء محرك سكرامجت). أخيرا، يُفترض أن تقوم محركات صاروخية صغيرة بتسريع الطائرة، مع حمولتها الإجمالية، على طول المسافة المتبقية إلى المدار. والمعروف أن سرعة 5 ماخ تعادل خمسة أضعاف سرعة الصوت، أي زهاء ميل واحد في الثانية. وعلى سبيل المقارنة، فإن أسرع طائرة مأهولة تعمل بسفط الهواء[1]، وهي طائرة **بلاك بيرد SR-71** Blackbird التابعة لسلاح الجو الأمريكي، لم تتمكن من تخطي سرعة مقدارها 3.2 ماخ تقريبا.

وقد تؤدي مثل هذه القدرات إلى حصول ثورة في عالم الطيران. فقدرة طائرة فضائية على الطيران مثل أي طائرة عادية، قد تسهم نسبيا في جعل هذا النوع من الرحلات أمرا روتينيا، وتُفضي بذلك إلى إحداث انخفاض كبير في تكاليف إرسال الأشخاص أو الأشياء إلى مدار حول الأرض. كما أن الأداء الهائل لهذا المحرك الجديد سوف يمكن الطائرة الحربية، أو الصاروخ، من إلقاء القنابل فوق أي هدف على الأرض، مهما كان موقعه وذلك خلال وقت أسرع بكثير مما هو ممكن في الوقت الحاضر؛ حتى إن محركات سكرامجت قد تتمكن يوما ما، من تسيير طائرات ركاب فوق صوتية بعيدة المدى، متيحة بذلك الفرصة، مثلا، لقطع المسافة بين مدينتي نيويورك وسيدني خلال ساعتين.

وهناك عدد كبير من مجموعات البحث المنتشرة في كافة أنحاء العالم، التي تعمل على مواجهة التحديات التقنية الهائلة، المتعلقة بتحقيق طيران فوق صوتي بوساطة محركات سكرامجت. وسوف أركز في مقالتي هذه على برنامج محركات سكرامجت، الذي ينفذه سلاح الجو الأمريكي والشركة برات أند ويتني للتقانة فوق الصوتية Pratt & Witny Hypersonic Technology (برنامج هايتك HyTeck)، وهو البرنامج الذي أظن أني خبرته أكثر من سواه. وهناك جهود حثيثة كثيرة أخرى في التطوير، تقوم بها حاليا كل من البحرية الأمريكية ووكالة الفضاء الأمريكية (NASA) ووكالة مشاريع الأبحاث الدفاعية المتقدمة (DARPA)، إضافة إلى فرق هندسية تعمل في أستراليا والمملكة المتحدة واليابان وفي أمكنة أخرى من العالم [*انظر الجدول في الصفحة 58*].

يوما ما، قد تتمكن محركات سكرامجت من تسيير طائرة ركاب بين نيويورك وسدني في مدة لا تتجاوز ساعتين.

نظرة إجمالية/ المحركات فوق الصوتية[*]

- **تستطيع محركات الاحتراق التضاغطية فوق الصوتية، أو محركات سكرامجت، أن تدفع الصواريخ وغيرها من الأسلحة والطائرات الفضائية، وحتى طائرات الركاب البعيدة المدى، بسرعات فوق صوتية ـ من 5 إلى 15 ماخ (يساوي 1 ماخ سرعة الصوت، أي ما يعادل 760 ميلا في الساعة عند مستوى سطح البحر).**
- **تقوم محركات سكرامجت بسفط الهواء ومزجه في الوقود، ثم تحرق المزيج لتوليد دفع دسري[2] هائل. وهي، خلافا للصواريخ، ليست بحاجة إلى حمل الأكسجين ومادة مؤكسدة، وبذلك تحقق انخفاضا في الوزن وتعطي نسبة دفع أكبر أربع مرات لكل وحدة من وزن المادة الداسرة.**
- **على الرغم من التصميم البسيط لمحرك سكرامجت ـ إذ إنه لا يحتاج إلى عجلات توربينية دوّارة ـ فإن التحديات التقنية التي يفرضها صنع محرك قادر على العمل في أنظمة طيران مختلفة ولفترات زمنية طويلة، تعترضها عقبات شتى.**

الطريق إلى الطيران[**]

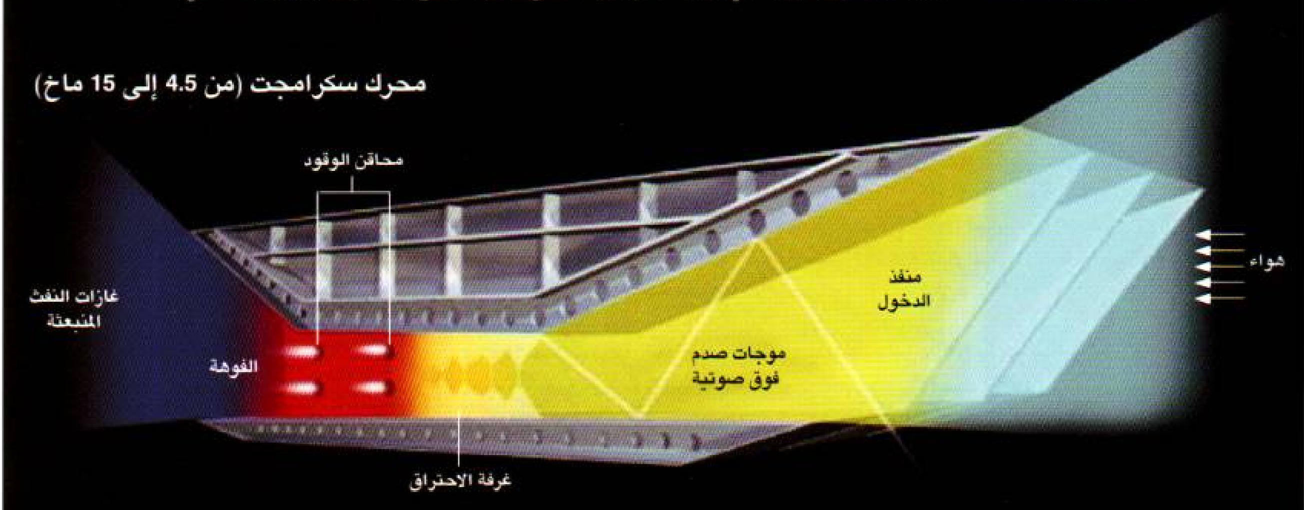
لا يُعد محرك سكرامجت مفهوما جديدا في تقانة الدفع. ويعود تسجيل أولى براءات الاختراع الخاصة به إلى الخمسينات من القرن العشرين. وفي أواسط الستينات، أُجريت عدة اختبارات في مرافق على الأرض لعدد من محركات سكرامجت بسرعات بلغ أقصاها 7.3 ماخ. كذلك، قامت شركات جنرال إلكتريك ويونايتد تكنولوجيز[3] وماركارت[4] ومختبر الفيزياء التطبيقية في جامعة جونز هوبكنز ومركز أبحاث لانگلي التابع للوكالة ناسا (NASA)، ببناء محركات تعمل، بشكل أساسي، على حرق الهدروجين (وهو نفس الوقود المستخدم في صواريخ الدفع في مكوك الفضاء وفي عدد كبير من المعززات الصاروخية التي تعمل بالوقود السائل). وفي أواسط الثمانينات، أطلقت حكومة الولايات المتحدة الأمريكية برنامج **الطائرة الفضائية الوطنية** National Aerospace Plane، التي تسير بوساطة محركات سكرامجت. غير أن المشروع أُلغي في عام 1994، بعد أن ناهز حجم الأموال الموظفة فيه بليوني دولار، وذلك كجزء من إجراءات تخفيض الميزانية الذي نفذ بعد انتهاء الحرب الباردة. وفي عام 2004، أكملت وكالة الفضاء الأمريكية برنامجها المسمى Hyper-X، عندما نجحت طوال بضع ثوان في تشغيل محركين من نوع سكرامجت يعملان بوقود الهدروجين، لكل منهما سرعة وارتفاع محددان. وفي أواخر العام نفسه، سجلت مركبة البحث X-43A المزودة بمحرك سكرامجت، سرعة قياسية بلغت قيمتها 9.6 ماخ [*انظر الإطار في الصفحة 59*]. وتنصب جهود سلاح الجو الأمريكي حاليا على استخدام تقانة الجيل الجديد من محركات سكرامجت بغية تسريع المركبة لبلوغ مدى معين من السرعات والارتفاعات

(*) Overview/ Hypersonic Engines
(1) air breathing
(3) United Technologies
(**) The Road to Flight
(2) propulsive thrust
(4) Marquardt

فئة من محركات الطيران(*)

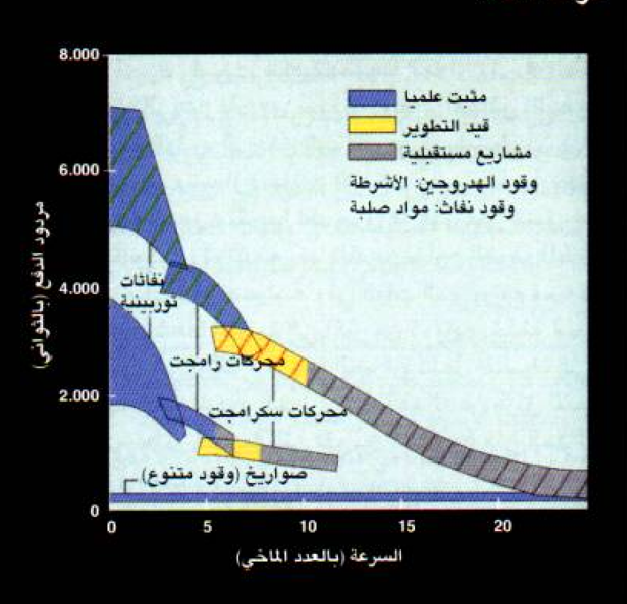
تنتمي محركات سكرامجت إلى فئة المحركات النفاثة، التي تعمل وفقا لمبادئ مماثلة. وعموما يولّد كل محرك دفعا دسريا بوساطة ضغط الهواء الداخل، ومزجه في الوقود، ثم حرق المزيج وطرد نواتج الاحتراق من طرفه الخلفي.

محرك سكرامجت (من 4.5 إلى 15 ماخ)



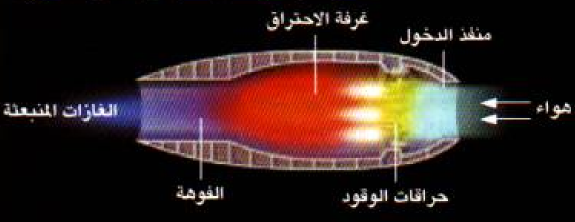
يدخل الهواء بسرعة فوق صوتية من منفذ الدخول، حيث يسبب المسار المتضيق للدفق تضاغطا ram للهواء ـ أي تباطؤه وانضغاطه، ومن ثم تحويل جزء من طاقته الحركية إلى حرارة. تضخ المحاقن (البخاخات) الوقود في الهواء داخل غرفة الاحتراق، حيث يبدأ المزيج الذي مازالت سرعته فوق صوتية بالاحتراق بسرعة، فتتحول طاقة الوقود الكيميائية إلى طاقة حرارية. يعمل المسار الداخلي المنضغط على احتباس المزيج المنتفخ الذي تكون درجة حرارته مرتفعة، فترتفع قيمة ضغطه أكثر. وعندما تصل الغازات المنبعثة إلى الفوهة، حيث يصبح المسار أعرض، تتمدد الكتلة وتتسارع متجهة إلى الخارج، وتتحول طاقتها الحرارية إلى طاقة دفع حركية.

نوافذ الأداء



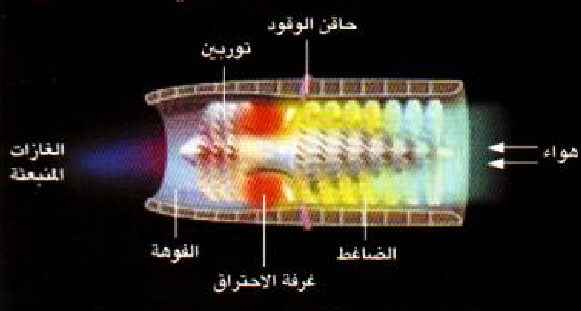
يكون تصميم كل محرك مناسبا على أفضل وجه لمجموعة من ظروف سرعة المركبة وارتفاعها. ويوفر وقود الهدروجين أداء أفضل للمحرك، لكنه يطرح بعضا من المشكلات المتعلقة بتعبئته في حيز صغير، وبالبنية التحتية الحالية لتوزيع الوقود. أما الوقود النفاث الهدروكربوني، فإن التعامل معه أسهل، لكنه يعطي مقدارا أقل من الطاقة لكل وحدة وزن. والمعروف أن مردود الدفع، وهو قياس للفعالية النسبية للمحرك، يساوي الدفع النفاث لكل وحدة وزن من معدل دفق الوقود الداسر.

محرك رامجت (2.5 إلى 5 أو 6 ماخ)



يشبه عمل المحرك النفاث التضاغطي (رامجت) عمل محرك سكرامجت، إلا أن دفق الهواء الداخلي فيه يبقى بسرعات دون صوتية.

محرك نفاث توربيني (0 إلى 3 ماخ)



لما كان المحرك النفاث التوربيني يسير بسرعة أبطأ، فإنه يحتاج إلى عجلات توربينية دوارة لضغط الهواء الداخل وتوليد قوة الدفع.

(*) A Family of Flight Engines

بعض برامج البحث والتطوير في مجال محركات سكرامجت(*)

إضافة إلى برنامج هايتك HyTeck وبرنامج المركبة الإيضاحية لمحرك سكرامجت X-51A التابعين لسلاح الجو الأمريكي [*انظر المقالة الرئيسية*]، هناك محاولات بحثية وطنية ودولية أخرى تهدف إلى تطوير تقانة محركات سكرامجت.

البرنامج	المواعيد	المؤسسة	الإنجازات
Hyper-X	1996-2004	ناسا	انصبت الجهود في مشروع Hyper-X (X-43A) على تسيير مركبات اختبارية لإثبات عمل محركات سكرامجت، التي تعمل بالهدروجين. ... أحد الاختبارات أثناء الطيران بلغت سرعة المركبة X-43A قرابة 10 ...
HyShot	2001 ـ حتى وقتنا الحاضر	جامعة كوينزلاند في أستراليا [بدعم من شركاء آخرين في أستراليا والمملكة المتحدة وألمانيا وكوريا الجنوبية واليابان]	في الشهر 2002/7، أجرى فريق HyShot أول اختبار ناجح من نوعه ... الطيران لمحرك سكرامجت. وقد طار باتجاه الأسفل بسرعة بلغت نحو ... ماخ مدة ست ثوان.
البرنامج الإيضاحي للطيران فوق الصوتي (HyFly)	2002 ـ حتى وقتنا الحاضر	وكالة الأبحاث الدفاعية المتقدمة (DARPA) ومكتب الأبحاث البحرية (ONR)	يقوم البرنامج HyFly بصنع صاروخ من نوع كروز يسير بمحركات رامجت أو سكرامجت. وقد طور مختبر الفيزياء التطبيقية في جامعة ... هوبكنز هذا المحرك لاستخدامه في الطائرة المزودة بمعززات صاروخ...
تقنية اختبار سكرامجت في الطيران الحر في الفضاء (FASTT، بإشراف المشروع HyFly)	2003 ـ حتى وقتنا الحاضر	Alliant Techsystems (بدعم من الوكالة DARPA والمكتب ONR)	في 2005/12/10، بلغت المركبة المزودة بمحرك سكرامجت، الذي يعمل بوقود الكيروسين سرعة قدرها 5.5 ماخ خلال طيران مدته 15 ثانية
Falcon	2003 ـ حتى وقتنا الحاضر	الوكالة DARPA	ينص برنامج فالكون على بناء طائرة حربية فوق صوتية بدون طيار، تستطيع أن تبلغ أي نقطة على كوكب الأرض في غضون ساعتين. وقد ... يكون لهذه التقانة، في نهاية المطاف، تطبيقات غير عسكرية، ويُحتمل ... تسهم في تطوير طائرة فضائية مدارية أحادية المرحلة.

وتزويد المحرك بوقود الهدروكربون السائل والاستعانة بنفس الوقود لتبريد هيكل المحرك.

تنتمي محركات سكرامجت إلى فئة يُطلق عليها اسم المحركات النفاثة التي تعمل بسفط الهواء والتي تتوقف المجالات المتنوعة للسرعات والارتفاعات التي تعمل فيها على تغييرات في مبدأ أساسي من مبادئ توليد الدفع. وبوجه عام، تعمل المحركات النفاثة عن طريق ضغط الهواء الجوي، ومزج هذا الهواء في الوقود، وحرق المزيج، ثم طرد نواتج الاحتراق من مؤخر المحرك لتوليد قوة الدفع. والمعروف أن معظم طائرات الركاب العادية والتجارية تسير بوساطة محركات توربينية غازية تتضمن المكونات الأساسية الخمسة التالية: **منفذ دخول الهواء** air in take؛ وضاغط (وهو عجلة مؤلفة من عدد من سطوح الانسياب الهوائية المركبة حول محور للدوران) مهمته سفط الهواء وزيادة ضغطه؛ **وغرفة احتراق** combustor يجري فيها حقن الوقود وحرقه؛ وعجلة توربينية تدور عندما تتدفق غازات الاحتراق الساخنة عبر سطوحها الانسيابية فيدور معها محور عجلة الضاغط؛ وفوهة تندفع من خلالها الغازات المنبعثة الشديدة الحرارة لتوليد قوة الدفع. وباستطاعة المحركات النفاثة التوربينية الحالية أن تزود الطائرة بطاقة تمكنها من بلوغ سرعات أعلى من 3 ماخ بقليل [*انظر الإطار في الصفحة 57*]. أما في السرعات التي هي أكثر ارتفاعا، فإن المكونات التي تدور تصبح معرضة للتلف الناجم عن التسخين المفرط الذي تتعرض له.

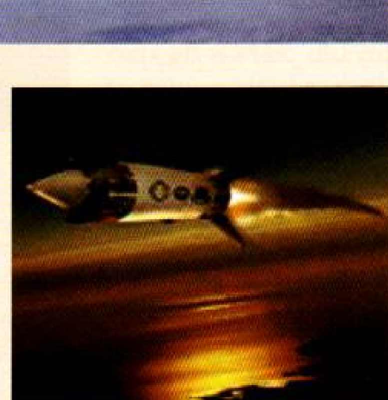
عندما تتجاوز قيمة السرعة 2.5 ماخ تقريبا، لا يعود المحرك النفاث بحاجة إلى ضاغط أو توربين إذا كان تصميمه يسمح بتعرض الهواء الذي يدخل فيه لعملية **تضاغط** ram-compression؛ لذلك لا يوجد في المحرك التضاغطي (رامجت) إلا منفذ لدخول الهواء وغرفة للاحتراق وفوهة [*انظر الإطار في الصفحة 57*]. يقوم منفذ الدخول الذي يصمم خصوصا لمحرك رامجت، بتكييف ضغط الهواء، وفي الوقت نفسه بإبطاء سرعته إلى سرعات دون صوتية. وتقوم **المحاقن (البخاخات)** injectors بضخ الوقود إلى دفق الهواء، ومن ثم يشتعل مزيج الهواء والوقود ويحترق. وتتسارع غازات الانفلات[1] الساخنة من جديد إلى أن تبلغ سرعة الصوت تقريبا عند مرورها عبر عنق ضيق، يسمى الخانق الميكانيكي[2]، ثم تندفع بعد ذلك من خارج الفوهة المخروطية الشكل بسرعات فوق صوتية. وفي الوقت الذي يرتفع فيه **العدد الماخيّ** Mach number للطائرة إلى أكثر من 5، يؤدي تباطؤ الهواء في منفذ الدخول إلى ارتفاع درجة الحرارة داخل المحرك إلى نقطة يصعب معها زيادة المردود الحراري زيادة فعّالة عن طريق الاحتراق. ولهذا السبب، تعتبر السرعة التي تقع بين 5 ماخ و6 ماخ الحد العملي لعمل محرك رامجت.

التركيب الداخلي لمحرك سكرامجت(**)

كي يتمكن محرك سكرامجت من توليد دفع دسري أكبر من الدفع الذي يوافره محرك رامجت، وكي يعمل بسرعة طيران أعلى من سرعته، يجب أن تنخفض فيه قيمة الانضغاط الأولي لدفق الهواء، بحيث لا تتباطأ سرعته بنفس المقدار تقريبا ـ في الحالة المثالية، يحافظ المحرك على سرعة فوق صوتية طوال عملية الاحتراق. وعلى غرار محرك رامجت، لا يوجد في محرك سكرامجت قطع متحركة في مسار دفق الهواء؛ إذ إنه مكون، أساسا، من أنبوب

Selected Scramjet R&D Programs (*)
exhaust gases (۱)
Anatomy of a Scramjet (**)
mechanical choke (۲)





تتوافر محركات سكرامجت بأشكال مختلفة، لكنها تحتاج جميعها إلى صواريخ تمكنها من بلوغ سرعة تجعلها قادرة على الإقلاع. فمركبة البحث X-43A ـ التابعة للوكالة ناسا، التي تشبه الطائرة العادية [*في الأعلى*] والتي سجلت في الشهر 2004/11 سرعة قياسية لمحرك نفاث يعمل بسفط الهواء (9.6 ماخ، أي زهاء 7000 ميل في الساعة) أطلقت من صاروخ بيكاسوس الخاص بالعلوم المدارية[1]. أما محركات سكرامجت في المشروع هايشوت HyShot، فقد أطلقت من على متن صواريخ تربير أوريون Terrier-Orion [*في أقصى اليمين*]، بنفس الطريقة التي أطلق بها محرك سكرامجت FASTT ذو التصميم المماثل، والذي يظهر في أحد التطبيقات المستقبلية للصواريخ الحربية [*في الوسط*].

متضيق يتخذ شكل قمعين متصلين في طرفيهما الضيقين [*انظر الإطار في الصفحة 57*]. وأثناء التشغيل، يتحول الهواء الذي يدخل بسرعة فوق صوتية من منفذ الدخول (القمع الأول) إلى هواء مكيف الضغط وساخن. وفي منطقة الدفق المتضيق الواقعة في الممر الأوسط (غرفة الاحتراق)، يُحقَن الوقود في الهواء المتدفق ويشتعل، وهذا يسبب تسخينا إضافيا للغاز. وتندفع الغازات المتولدة المنفلتة من خارج الفوهة (القمع الثاني) بسرعة فائقة أعلى من سرعة الهواء الداخل إلى المحرك.

ومثلما تفعل بعض أسماك القرش التي تسبح إلى الأمام من دون توقف كي تحافظ على إمداداتها من الأكسجين، يتعين على محرك رامجت، أو محرك سكرامجت، أن يتقدم بسرعة كبيرة لإجبار الهواء على الاندفاع بقوة في منفذ الدخول قبل أن يتمكن من الإقلاع وتوليد قوة الدفع. هذا وإن الحاجة إلى بلوغ لحظة بدء الإقلاع تعني أن مركبة الإطلاق المدارية، التي تسير بوساطة محركات سكرامجت، يجب أن تتضمن نظاما آخر للدفع، كأن يكون صاروخا أو محركا توربينيا غازيا، يمكنها من مباشرة حركتها. وعندما تبلغ المركبة سرعتها المطلوبة، يفترض أن يقوم قائد الطائرة الفضائية بتشغيل محرك سكرامجت لمتابعة الرحلة نحو الطبقات العليا للجو، حيث يتولى أحد الصواريخ إكمال مرحلة الدخول النهائي في المدار. ويعد تصميم نظام للدفع، يجمع بين مختلف دورات المحرك، مسألة من مسائل **الاستمثال** optimization التي تتأثر بعوامل مثل حجم الحمولة الإجمالية والمدار المقصود والمدى والسرعة اللازمين للسفر في الغلاف الجوي والقدرة على نقل الأسلحة.

وتتمثل الصعوبة الرئيسية في عمل محرك سكرامجت بالمدة القصيرة التي يمكث خلالها الهواء داخل المحرك ـ بضعة أجزاء من الملي ثانية، إذ تصبح مهمة حرق الوقود أشبه بإشعال عود ثقاب في عاصفة وإبقائه مشتعلا بطريقة ما. وتكمن البراعة في تشغيل محرك سكرامجت في الهندسة الداخلية المتطورة جدا للأنبوب، وفي تحديد الموقع الذي تطلق منه الحرارة بفعل الاحتراق على طول هذا الأنبوب. فمحرك سكرامجت العملي يولد قوة دفع مستقرة عن طريق التحكم الدقيق في سرعة وضغط الهواء المتدفق عبر المحرك، وعن طريق معايرة كمية الوقود التي تدخل إلى غرفة الاحتراق لكي تحترق بأكملها وتطلق الكمية المطلوبة بدقة من الطاقة. ويُعد الضبط الدقيق للعلاقة بين مساحة الدفق وكمية الحرارة المنطلقة سببا لإلغاء الحاجة إلى وجود خانق ميكانيكي في محرك رامجت، وللسماح لمحرك سكرامجت بالحفاظ على دفق فوق صوتي عبر غرفة الاحتراق.

وفي مجال محركات سكرامجت، يدرك الباحثون أن المعالجة الدقيقة للطاقة الحرارية في المحرك أمر بالغ الأهمية. فالحرارة تتدفق إلى بنية المحرك نتيجة عمليتي الاحتكاك والاحتراق. ويمكن لموجات الصدم الداخلية، التي ترتطم بجدران المحرك، إجراء تضخيم موضعي كبير لهذا التدفق الحراري. فالطاقة الحركية للدفق الهوائي فوق الصوتي الممتص، إذا ما تحولت بكاملها إلى طاقة حرارية، هي أكبر بكثير مما يتطلبه انصهار الهيكل المعدني للمحرك. ومع ذلك، فمن دون درجة كافية من التباطؤ، يقوم الهواء بالانتقال عبر المحرك بسرعة كبيرة وبدرجة حرارة وبضغط شديدي الانخفاض يمنعانه من مؤازرة احتراق الوقود.

ويلجأ المهندسون إلى استخدام طُرُق «التبريد الفاعل» لمنع

(1) Orbital Sciences Pegasus



في عام 2009، سوف تقوم مركبة البيان العملي لمحرك سكرامجت X-51A [في *الأعلى*] بإجراء اختبار أثناء الطيران على تقانة لمحرك سكرامجت وهيكله الهوائي، يشرف عليها برنامج سلاح الجو الأمريكي HyTech. وفي الآونة الأخيرة، استكملت مجموعة من الاختبارات الأرضية على آخر نموذج أولي [*في اليمين*] لمحرك سكرامجت، التابع لسلاح الجو الأمريكي، في نفق مخصص لدرجات الحرارة العالية، يبلغ طوله ثماني أقدام، وذلك في مركز أبحاث الوكالة ناسا في لانكلي. وقد أجرى المهندسون اختبارهم على المحرك وهو مقلوب رأسا على عقب، بغية تحديد خطوط سير الأنابيب والأجهزة عبر القاعدة الواقعة في أسفله.

انصهار هيكل المحرك نتيجة لاحتكاك الهواء الناجم عن الدفق فوق الصوتي. وبموجب هذه الطرق، تقوم المضخات بإجبار دفق ثابت من الوقود الماص للحرارة على الاندفاع عبر ممرات تم إنشاؤها في داخل المحرك ومكونات الهيكل، غايتها سفط الحرارة التي يُحتمل أن تسبب تلفا للمحرك. ولهذه العملية فائدة رديفة تتمثل بتهيئة الوقود لعملية احتراق سريع داخل المحرك. وقد جرى تطبيق تقنية التبريد هذه بنجاح طوال عقود على الصواريخ التقليدية، واستخدم فيها الهدروجين السائل مادة للتبريد. ويُعتبر استخدام الوقود الهدروكربوني في مثل هذا الوسط أكثر خطورة لأن الهدروكربون المُجْهَد حراريا يمكن أن يتفكك فورا، ويتحول إلى فحم كوك صلب، وهذا يؤدي بدوره إلى انسداد ممرات التبريد. أما العيوب الأخرى فهي أن أنظمة التبريد الفاعل تستلزم وزنا وتعقيدا إضافيين، وأنها يجب أن تظل فاعلة؛ لأن أي نقصان في مادة تبريد الوقود سوف يؤدي إلى فشل بنيوي كارثي.

لذلك يعتبر التشغيل الناجح لمحرك سكرامجت بمثابة فعل توازني دقيق، يزيد من تعقيده أن أي شكل هندسي محدد لدفق الهواء لا يمكن أن يصل إلى حالته المثلى إلا عند تحقق مجموعة ملائمة واحدة من ظروف الطيران (السرعة، الارتفاع، وهلم جرا). وفي الحالة المثالية، يمكن للأبعاد الفيزيائية ولشكل مسار الدفق في محرك سكرامجت، أن تتكيف باستمرار كلما زادت سرعة المركبة وتَغير ارتفاعها، لكن السطوح الداخلية المتحركة المقاومة للحرارة، والوصلات الميكانيكية ذات القدرات المماثلة، مازالت متخلفة عن المواد والبُنى المستعملة حاليا. فالحاجة إلى التحريك المستمر لسطوح المحرك الداخلية الشديدة السخونة، وإلى إحكام إغلاق الممرات لمنع تسرب غازات المحرك المرتفعة الحرارة، مازالت تكوِّن عائقا أمام تحقيق جميع القدرات الكامنة لدورة محرك سكرامجت.

دراسة حالة(*)

وعلى الرغم من العقبات التقنية المتأصلة في طبيعة محركات سكرامجت، فقد حقق الباحثون في الآونة الأخيرة نجاحات تبشر بإنجازات واعدة كثيرة في المستقبل. يتمثل أحد هذه النجاحات بتفعيل البرنامج هايتك HyTeck، التابع لسلاح الجو الأمريكي، الذي انطلق عام 1995. فقد تركز التعاون في البرنامج هايتك، بين العلماء والمهندسين الحكوميين والصناعيين والجامعيين، على ما كان يمثل، باعتقاد الفريق، جزءا قابلا للمعالجة من التحديات الهندسية لمحرك سكرامجت. وكان تركيز عمل الأعضاء، أولا، على محركات سكرامجت الصغيرة القابلة لزيادة الحجم، كتلك المستخدمة في الصواريخ. ويُفترض في هذا المحرك أن يكون صغيرا بحيث يناسب حجم مرافق الاختبارات المقامة على الأرض، ومن ثم يسهل القيام بتقييم تقني له. ويُفترض فيه أيضا أن يعمل مرة واحدة فقط، مرجئا بذلك حل الصعوبات الإضافية، الناجمة عن تطوير بُنى طيرانية قابلة لإعادة الاستعمال، إلى بحث لاحق. وقد استطاع هذا البرنامج أن يقلل من مستوى التعقيد في التصميم إلى حده الأدنى، عن طريق حصر نطاق التشغيل بين 4 ماخ و 8 ماخ، واعتماد مسار تدفق ذي شكل هندسي ثابت.

ولتشغيل محرك هايتك، وقع أخيرا اختيار أعضاء الفريق على الوقود النفاث JP-7، وهو سائل هدروكربوني جرى تطويره أساسا لبرنامج المركبة بلاك بيرد. وكما أشرنا سابقا، ففي محرك سكرامجت المبرد بالوقود، يؤدي الوقود دور مصرف أو بالوعة حرارية - وهي الوسيلة التي يمكن بوساطتها التحكم في كمية الحرارة الزائدة. ففي أي نظام متوازن حراريا، ينبغي ألا تزيد كمية الوقود، اللازمة لامتصاص الحرارة الفائضة في الهيكل، على كمية الوقود الضرورية لعملية الاحتراق. ويرغب مصممو محرك هايتك في أن يحدث هذا التوازن في سرعة قدرها 8 ماخ، وقد برهن الوقود JP-7 على أن استعماله ملائم جدا في هذه المهمة.

وكي تتمكن وحدة توليد الطاقة، التي تعمل بسفط الهواء، من أن تنافس بجدارة فعالية مركبة إطلاق تعمل بوساطة الصواريخ، فقد بينت الدراسات المتعلقة بالأداء أنها يجب أن تكون قادرة على العمل جيدا عند بلوغ سرعة تعادل نصف سرعتها القصوى تقريبا. ولهذا السبب، سعى المهندسون لبلوغ سرعة قدرها 4 ماخ، واعتبارها السرعة التي يبدأ بها إقلاع محرك سكرامجت، علما أنها سرعة صعبة المنال، لأن درجة حرارة الهواء الذي يدخل إلى حجرة الاحتراق بتلك السرعة هي أدنى بكثير من درجة الحرارة التي

(*) A Case Study

يحدث فيها الاشتعال التلقائي للوقود. لذا فقد يتطلب المحرك وجود عنصر إضافي يساعد على عملية الاشتعال، كأن يكون مادة مضافة كيميائية تخفض درجة حرارة الاشتعال التلقائي للوقود، أو جهازا قادرا على إشعال الوقود عن طريق توليد غاز ساخن جدا وحقنه داخل مزيج الهواء والوقود. أما عند بلوغ سرعات طيران تتجاوز 4 ماخ، فإن اشتعال اللهب وثباته يكونان أسهل بكثير، وذلك إلى حين الوصول إلى سرعات طيران عالية جدا تصبح فيها المدة القصيرة لبقاء الوقود في المحرك عائقا أمام استدامة عملية الاحتراق.

وبحلول عام 2003، كان فريق «هايتك» طور مكونات المحرك، وأدخل فيه أنظمة جزئية تفي بمعظم متطلبات أهداف البرنامج

أن يؤدي إلى فشل كارثي. وهناك مشكلة أخرى مفادها أن عدم التوازن في التمدد الحراري بين المكونات الخزفية والمكونات المعدنية قد يشوه الأشكال الهندسية لمجاري الهواء ويُربك محاولات التحكم في أداء محرك سكرامجت. وقد توصل المهندسون إلى تطوير مادة مقاومة للحرارة مكونة من الكربون ومركبات الكربون ومزودة بوصلات حزٍ ولسان[1] يمكنها أن تتغلب على هذه المشكلة.

يُعتبر استخدام الوقود JP-7، في تشغيل محرك سكرامجت وتبريده، أساسيا لنجاح المركبة X-51A. وحتى الآن، كان يُنظر إلى الهدروجين على أنه الوقود المفضل لمعظم برامج محركات سكرامجت. وخلافا للهدروجين، تمتاز معظم أنواع الوقود الهدروكربوني بأنها أقل

إن مهمة حرق الوقود في محرك سكرامجت أشبه بإشعال عود ثقاب في عاصفة وإبقائه مشتعلا بطريقة ما.

الأصلي أو تتخطاها. بيد أنه حتى بعد الاختبارات الأرضية الموسعة للمحرك، ظلت بعض الارتيابات الأساسية المتعلقة بالتطوير قائمة. ويُعد تقصي هذه التساؤلات المتبقية، المرتبطة بمجملها بالمحافظة على الأداء أثناء الظروف الانتقالية - كتغير السرعة والارتفاع وإعدادات الخانق - صعبا جدا في الأنفاق الهوائية، ويستحسن أن يجري التصدي لها في عمليات الطيران الاختبارية.

لهذا السبب، سوف تقوم مركبة البيان العملي لمحرك سكرامجت Scramjet Engine Demonstrator (SED) التابعة لسلاح الجو الأمريكي، والمعروفة حاليا باسم X-51A، بنقل بعض أنظمة محرك «هايتك» إلى الفضاء عام 2009 [*انظر الشكل في الصفحة المقابلة*] وهذا البرنامج هو متابعة لعملية التقييم أثناء الطيران للتقانة، التي مازال العمل جاريا لتحسينها في البرنامج هايتك. وقد استطاع مهندسو «هايتك»، بوساطة اختبارات جرت على الأرض وتحليل حاسوبي موسع، أن يبتكروا محركا من نوع سكرامجت، يتميز بوزن مناسب للطيران وتبريد فاعل، يمكن اختباره ضمن البرنامج SED.

عندما وجد فريق المهندسين البرنامج SED نفسه عاجزا عن تغيير الشكل الداخلي للمحرك أثناء الطيران، بغية تعديل الأداء ليتلاءم مع السرعات والارتفاعات السريعة التغير، وقع اختياره على بناء مسار دفق ذي شكل هندسي ثابت يمكن اعتباره حلا وسطا بين التسارع المناسب في الحد الأدنى لنطاق السرعة (بين 4.5 و 7 ماخ) وبين الأداء الفعال للطيران بأعلى سرعة له التي مقدارها 7 ماخ. وقد تبين أن معالجة توزيع الوقود داخل المحرك هي الوسيلة الأساسية للتحكم في المحرك - أي في قوة دفعه ومعدل تسارعه والحفاظ على عمله المستقر.

لقد صُنع هذا المحرك أساسا من مادة الفولاذ، التي يمكن تبريدها بفعالية بوساطة الدفق الداخلي للوقود. إضافة إلى ذلك، فقد استُعيض عن الفولاذ بمكونات خزفية مقاومة للحرارة في بعض الحافات الأمامية للمحرك - أي المناطق الواقعة في مقدمته، التي تتلقى قوة الصدم المباشر لدفق الهواء الساخن - التي تكون حادة جدا لدرجة لا تسمح لها باحتواء ممرات مادة التبريد. هذا وإن وصل الأجزاء المبردة بالأجزاء غير المبردة بطريقة موثوقة عملية تنطوي على صعوبة كبيرة، لكنها شديدة الأهمية. ومن الواضح أن أي عُطل بنيوي سريع وشديد (قبل أن يبلغ الصاروخ هدفه)، يمكن

تفاعلا وتحتوي على كمية أقل من الطاقة في وحدة الوزن، وبأن سعتها الحرارية المتدنية مناسبة لتبريد الهياكل الساخنة. غير أن الوقود الهدروكربوني شائع الاستخدام في جميع تطبيقات سلاح الجو الأمريكي، ولذلك يحظى بوجود بنية تحتية شاملة لأغراض التوزيع والمناولة. إضافة إلى ذلك، فالوقود الهدروكربوني يعبأ بطريقة أفضل، ويُبدي محتوى أكبر من الطاقة في وحدة الحجم، لذا فإن الحجم الذي يشغله على متن المركبة أقل من الحجم الذي تتطلبه كمية الهدروجين التي تملك المحتوى ذاته من الطاقة.

وللتعويض عن التفاعلية المتدنية لوقود الهدروكربون ومساوئ سعته الحرارية، يستفيد البرنامج هايتك من إمكانات الوقود JP-7 في امتصاص الحرارة - أي من مقدرته على تشرّب الحرارة كيميائيا. فعندما تتلقى هذه الأنواع من الوقود الحرارة من محيطها في غياب الأكسجين ووجود حفاز كيميائي مناسب، تتفكك السلاسل البوليميرية المعقدة فيها وتتحول إلى سلاسل بسيطة وقصيرة. وخلال هذه العملية، يمتص الوقود مقدارا من الحرارة يعادل خمسة أضعاف سعته الحرارية الكامنة - أي الحرارة التي يمتصها السائل بمجرد تسخينه. وإضافة إلى ذلك، يتحول الوقود، بعد تعرضه لتسخين ماص للحرارة، إلى غاز ساخن يحتوي على كمية من الطاقة تزيد بنسبة 10 في المئة على الطاقة الكيميائية للوقود السائل الذي لم يتعرض للتسخين. وفي النهاية، تكون الهدروكربونات الناتجة ذات الوزن الجزيئي المنخفض أكثر تفاعلا من جزيئات الوقود الأصلي، وهذا يسهل عملية احتراقها خلال الوقت القصير الذي يكون فيه الوقود موجودا داخل محرك سكرامجت.

وكان المهندسون قد أنتجوا قبل ذلك محركا ذا شكل هندسي ثابت وحجم كاف لتسيير مركبة شبيهة بالصاروخ (يمكن أن تبدأ فيها عملية احتراق وقود هدروكربوني، مثل الوقود JP-7) بسرعة قدرها 4.5 ماخ، ثم تتسارع بعد ذلك لتصل إلى سرعة قدرها 7 ماخ. وهناك تقانات أخرى قيد الإعداد، متعلقة بالتبريد الفاعل والهياكل المقاومة للحرارة، تسمح للمحرك بالحفاظ على توازنه الحراري مادام الوقود موجودا في المركبة. وفي عام 2009 سوف يجري تعزيز مركبة الطيران الحر X-51A بصاروخ يمكّنها من بلوغ سرعات هائلة قبل أن تنطلق إلى

(1) tongue-and-groove joints

التتمة في الصفحة 69

حوسبة بالعُقَد الكمومية(*)

آلة تعتمد على جسيمات غريبة، تسمى الأنيونات anyons، وتمثِّل الحساب كمجموعة من الضفائر في الزمكان، يمكن أن تكون طريقا مختصرا إلى الحوسبة الكمومية العملية.

<G .P. كولِنز>

تَعد الحواسيب الكمومية بتنفيذ حسابات يُعتقد أنها مستحيلة بواسطة الحواسيب العادية. وبعض هذه الحسابات على قدر كبير من الأهمية في عالم الواقع. فعلى سبيل المثال، بعض طرائق التعمية (التشفير) الواسعة الاستخدام يمكن أن تُكسر بوجود حاسوب قادر على تحليل عدد كبير إلى عوامله الأولية خلال مدة معقولة. وفي الحقيقة، إن جميع الطرائق المستخدمة لتعمية البيانات الشديدة الحساسية عُرضة للكسر بخوارزمية كمومية أو بأخرى.

تُردُّ الطاقة الإضافية التي يتمتع بها الحاسوب الكمومي إلى أنه يعالج معلومات ممثَّلة **ككيوبتات** qubits، أو البتات الكمومية، بدلا من البتات. إن البتَّة التقليدية العادية يمكن أن تكون إما 0 أو 1، وبنى الشِّبات الميكروية الشائعة تعزز هذا الانقسام بين هاتين القيمتين تعزيزا صارما. لكنْ على النقيض من ذلك، يمكن للكيوبتَّة أن تكون فيما يسمى حالة **تراكب** superposition، وهذه تقتضي وجود **نسب** proportions من الـ0 والـ1 متعايشة معا. يمكن للمرء النظر إلى حالات الكيوبتَّة الممكنة على أنها نقاط على كرة، حيث يمثل القطب الشمالي الـ1 التقليدي، ويمثل القطب الجنوبي الـ0 التقليدي، وتمثل جميع النقاط بينهما جميع التراكبات الممكنة للـ0 و الـ1 [انظر: «*قواعد لعالم* كمومي معقد»، **العلوم**، العددان 7/6 (2003)، ص 70]. إن حرية الكيوبتات في التجوال في كامل الكرة تساعد على إعطاء الحواسيب الكمومية مقدراتها الفريدة.

لكن لسوء الطالع يبدو أن بناء الحواسيب الكمومية شديد الصعوبة. ويُعبَّر عادة عن الكيوبتات باعتبارها خواص كمومية معينة **لجسيمات ماسورة** trapped particles، من قبيل الأيونات (الشوارد) الذرية والإلكترونات المستقلة. لكن حالات تراكب تلك الجسيمات هي هشة جدا، إذ يمكن لأضأل التأثرات المشوِّشة مع البيئة المحيطة، التي تشمل جميع المادة التي يتكوَّن منها الحاسوب نفسه، أن تعطبها. فإذا لم تُعزل الكيوبتات عن محيطها بعناية، فإن مثل هذه الاضطرابات سوف تُدخل أخطاء في الحوسبة.

لذا، تُركِّز معظم طرائق تصميم الحاسوب الكمومي على إيجاد سبل لجعل تأثرات الكيوبتات مع المحيط أصغرية. ويعلم الباحثون أنه إذا كان من الممكن تخفيض معدل الخطأ إلى خط

(*) COMPUTING WITH QUANTUM KNOTS



بضفر خطوط العالَم (مسارات) world lines لجسيمات خاصة، يمكن تنفيذ حوسبة كمومية مستحيلة الإجراء بأي حاسوب عادي (تقليدي). إن تلك الجسيمات تعيش في سائل يسمى غاز إلكترونات ثنائي الأبعاد.

لأول وهلة، لا يبدو الحاسوب الكمومي الطبولوجي كثيرا كحاسوب.

واحد في كلّ 10 000 خطوة، فإن إجراءات تصحيح الخطأ يمكن أن تُستخدم للتعويض عن عطب الكيوبتات الإفرادية. إن بناء آلة عاملة، تحوي عددا كبيرا من الكيوبتات المعزولة عزلا جيدا للحصول على معدل الخطأ المنخفض هذا، مهمةٌ مُروِّعة جعلت الفيزيائيين أبعد ما يكونون عن إنجازها.

لكن بعض الباحثين يستقصون نهجا مختلفا كليا لبناء حاسوب كمومي. في نهجهم ذاك، تعتمد الحالات الكمومية المرهفة على ما يُعرف بالخواص الطبولوجية للنظم الفيزيائية. إن الطبولوجيا هي الدراسة الرياضياتية للخواص التي لا تتغير حينما يتشوَّه الجسم تشوُّها ناعما، بأفعال كالمطِّ والرَّقِّ والحني، لا القطع والوصل، وهي تشمل مواضيع من مثل **نظرية العُقَد** knot theory. والاضطرابات الضئيلة لا تغير الخواص الطبولوجية. فالحلقة المغلقة، على سبيل المثال، المكوَّنة من خيط يحوي عقدة مربوطة فيه، تختلف طبولوجيا عن حلقة مغلقة ليس فيها عقدة [*انظر الإطار في الصفحة 64*]. إن الطريقة الوحيدة لتحويل الحلقة المغلقة إلى حلقة مغلقة مع عقدة هي قطع الخيط، وعَقْد العقدة ثم إعادة لصق طرفي الخيط معا. وبالمثل، فإن الطريقة الوحيدة لتحويل كيوبتة طبولوجية إلى حالة مختلفة، هي تعريضها لإجراء عنيف كمثل ذلك الإجراء. فالوكزات الضئيلة التي تسببها البيئة المحيطة لا تُفلح في ذلك.

لأول وهلة، لا يبدو الحاسوب الكمومي الطبولوجي كالحاسوب على الإطلاق. فهو يُجري حساباته على خيوط مضفورة، لكن هذه الخيوط ليست خيوطا مادية بالمعنى التقليدي، بل هي ما يصفها الفيزيائيون بأنها **خطوط العالَم** world lines، وهي تمثيل للجسيمات حينما تتحرك عبر المكان والزمان (تخيَّل أن طول واحد من هذه الخيوط يمثل حركة الجسيم عبر الزمن، وأن ثخانته تمثل أبعاد الجسيم المادية). حتى إن الجسيمات المستخدمة ليست كالإلكترونات والبروتونات التي قد تخطر ببال المرء أول الأمر، بل هي **أشباه جسيمات** quasiparticles، أي تهييجات في منظومة إلكترونية ثنائية الأبعاد تسلك سلوكا مشابها كثيرا لسلوك الجسيمات والجسيمات المضادة في فيزياء الطاقات العالية. ولمزيد من التعقيد، فإن أشباه الجسيمات تلك هي من نوع خاص يسمى **الأنيونات** anyons، التي تمتلك الخواص الرياضياتية المطلوبة.

وهاك ما يمكن لحوسبة ما أن تكون: ولِّدْ، أولا، زوجا من الأنيونات وضَعْهما على خط جنبا إلى جنب [*انظر الإطار في الصفحة 65*]. إن كل زوج من الأنيونات يبدو كجسيم وجسيم مضاد له، تولّدا من طاقة بحتة.

بعد ذلك حرِّك أزواج الأنيونات المتجاورة، بعضا حول بعض، في سلسلة من الخطوات المحددة بعناية. يُشكِّل خط عالم كل أنيون خيطا، وتؤدي حركات الأنيونات، لدى مبادلة مواضعها بهذه الطريقة، إلى ضفر جميع الخيوط. إن الحوسبة الكمومية متضمَّنة في الضفيرة الخاصة المشكَّلة بهذا النحو. وتتحدد الحالات النهائية للأنيونات، والتي تجسِّد نتيجة الحوسبة، بالضفيرة لا بأي تأثر إلكتروني أو مغنطيسي مشوِّش. ونظرا إلى أن الضفيرة طبولوجية - أي إن وكز الخيوط قليلا هنا وهناك لا يغيِّر الضفيرة - فإنها تكون محمية بطبيعتها من الاضطرابات الخارجية. لقد اقترح فكرة استخدام الأنيونات لإجراء الحوسبة بهذه الطريقة في عام 1997 <A .Y. كيتاييف> [وهو يعمل حاليا في الشركة مايكروسوفت].

ألقى <M .H. فريدمان> [وهو يعمل حاليا لدى الشركة مايكروسوفت] محاضرات في جامعة هارفرد في خريف عام 1988 حول إمكان استخدام الطبولوجيا الكمومية في الحوسبة. إن هذه الأفكار، التي نُشرت في مقالة بحثية في عام 1998، بُنيت على اكتشاف أن مقادير رياضياتية معينة، تُعرف بـ«**لامتغيرات العُقَد**» knot invarients، كانت على علاقة بالفيزياء الكمومية لسطح ثنائي الأبعاد يتطور في الزمن. فإذا أمكن بناء نموذج لمثل هذه المنظومة الفيزيائية وإجراء القياس الملائم، فإن لامتغيرات العقد يمكن أن تُحسب تلقائيا تقريبا عوضا عن إجراء الحسابات الطويلة بحاسوب تقليدي. ويُمكن أن تكون لمسائل لها صعوبة مماثلة، لكنها ذات أهمية أكثر واقعية، سُبلُ حساب مختصرة مماثلة.

ومع أن هذا يبدو تنظيرا غريبا وبعيدا عن الواقع، فقد وَضعَت تجاربُ حديثة، في حقل يُعرف بفيزياء «**هول الكمومية الكسرية**»[1] fractional quantum Hall physics، طريقة الأنيونات على أرض صلبة. واقتُرح مزيد من التجارب لتحقيق خطوات أولية في الحوسبة الكمومية الطبولوجية.

نظرة إجمالية/ الضفائر الكمومية(*)

- **تَعِد الحواسيب الكمومية بأن تتجاوز قدراتُها كثيرا قدرات الحواسيب التقليدية، لكنْ كي تصبح عاملة من حيث المبدأ، يجب أن تكون معدلات الأخطاء فيها منخفضة جدا. وتحقيق معدلات الخطأ المنخفضة المطلوبة بوساطة التصاميم التقليدية بعيد عن متناول الإمكانات التقانية الحالية.**
- **أما التصميم البديل فهو ما يُسمى الحاسوب الكمومي الطبولوجي الذي يَستخدم نظاما فيزيائيا مختلفا جذريا لإجراء الحوسبة الكمومية. إن الخواص الطبولوجية لا تتغير بالاضطرابات الطفيفة، وهذا ما يؤدي إلى مناعة ذاتية من أخطاء كتلك التي تسببها التاثرات المشوِّشة مع البيئة المحيطة.**
- **يمكن للحوسبة الكمومية الطبولوجية أن تستخدم تهيُّجات مفترضة نظريا، تسمّى أنيونات، وهي بنى شبه جسيمية particlelike غريبة ممكنة الوجود في عالم ثنائي الأبعاد. وقد أشارت التجارب حديثا إلى أن الأنيونات توجد في بنى شبه موصلة مستوية خاصة، تُبرَّد إلى درجة حرارة قريبة من الصفر المطلق وتُغمر في حقول مغنطيسية شديدة.**

الأنيونات(**)

وفقا لما ذُكر آنفا، يضفر الحاسوب الكمومي الطبولوجي خطوط العالم بمبادلة مواضع الجسيمات. إن كيفية تصرف

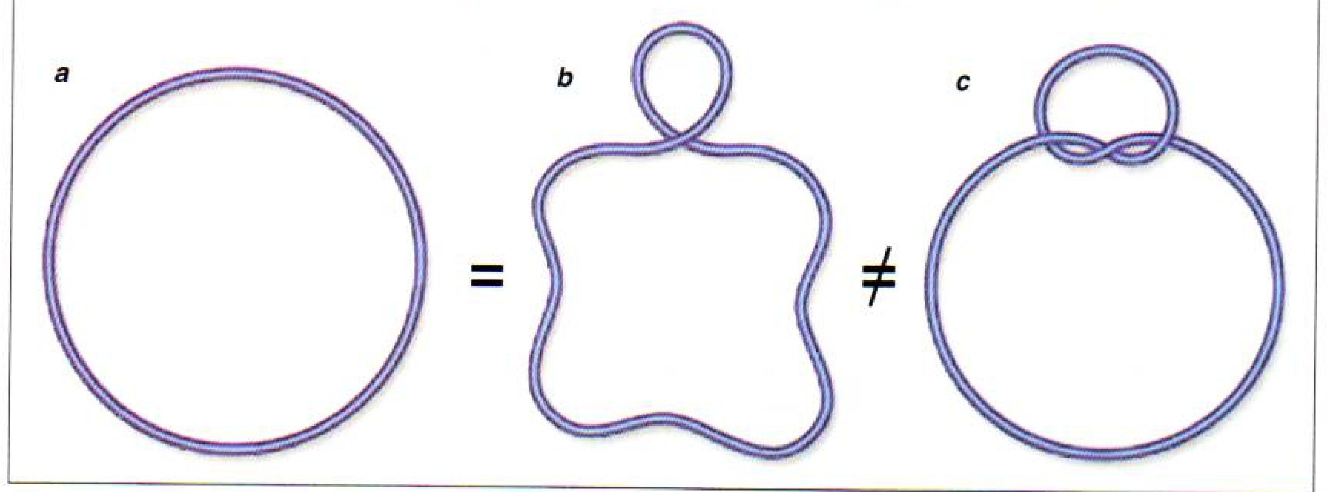
(*) Overview/ Quantum Braids

(**) Anyons

(1) تأتي صفة الكسرية من حقيقة أن شحنة الجسيمات الكمومية تساوي كسرا من شحنة الإلكترون. (التحرير)

الطبولوجيا والعقد(*)

لا تتغير طبولوجيا **الحلقة المغلقة** closed loop (a) إذا دُفع الخيط ليُكوِّن شكلا آخر (b) مختلفا عن ذاك ذي الحلقة المغلقة الذي يحتوي عقدة مربوطة فيه (c)، إذ لا يمكن تشكيل العقدة بمجرد تحريك الخيط. لفعل ذلك، لا بد من قطع الخيط وربط العقدة، ثم إعادة وصل الطرفين. لذا، تكون طبولوجيا الحلقة **غير حساسة** insensitive للاضطرابات التي تحرك الخيط من مكان إلى آخر.



الجسيمات حين مبادلة مواضعها هي واحدة من أوجه الاختلاف الجوهرية الكثيرة بين الفيزياء الكمومية والفيزياء التقليدية. ففي الفيزياء التقليدية، إذا كان لديك إلكترونان في الموضعين a و b، وقمت بمبادلة موضعيهما، فإن الحالة النهائية تماثل الحالة الابتدائية؛ إذ لما كان من غير الممكن التمييز بين الإلكترونين، فإنه لا يمكن التمييز أيضا بين الحالتين الابتدائية والنهائية. أما في الفيزياء الكمومية، فالأمر ليس بهذه البساطة.

ينجم الاختلاف عن أن الميكانيك الكمومي يصف حالة الجسيم بمقدار يسمى **دالة (تابع) الموجة** wave function، أيْ موجة في فضاء يتضمن جميع خواص الجسيم، مثل احتمال العثور عليه في المواضع المختلفة، واحتمال قياسه عند سرعات مختلفة، وهلمَّ جرًّا. وعلى سبيل المثال، يكون العثور على الجسيم في منطقة معينة أعلى احتمالا إذا كان لدالة الموجة في هذه المنطقة **مطال** amplitude أكبر.

يتعين زوج من الإلكترونات بدالة موجة مشتركة، وحين مبادلة موضعي الإلكترونين، تكون دالة الموجة المشتركة الناتجة هي دالة الموجة المشتركة الأصلية مضروبة بـ(-1). وهذا يجعل **قمم** الموجة peaks **قيعانا** troughs، وقيعانها قمما، لكنه لا يؤثر في مطال الاهتزاز، ولا يغير أيَّ مقدار قابل للقياس يخص الإلكترونين المعنيين بالذات.

لكن ما يتغيَّر فعلا هو الكيفية التي يمكن للإلكترونين التداخل بها مع الإلكترونات الأخرى. يحصل **التداخل** interference عندما تُجمع موجتان معا. وعندما تتداخل موجتان، يكون لمجموعهما مطال كبير حيثما تقع قمم إحداهما على خط مستقيم مع قمم الأخرى («**تداخل بنَّاء**» constructive interference)، ومطال صغير حيثما تقع قمم الأولى على خط مستقيم مع قيعان الأخرى («**تداخل هدَّام**» destructive interference). وضَربُ إحدى الموجات بـ(-1) يجعل القمم قيعانا، ولذا يبدِّل التداخلَ البنَّاء، بقعة مضيئة، بتداخل هدَّام، بقعة مظلمة.

ليست الإلكترونات وحدها هي التي تتأثر بالعامل (-1) بهذه الطريقة، بل البروتونات والنيوترونات أيضا، وعموما أيّ جسيم من الفئة التي تُدعى **فرميونات** ferminos. أما البوزونات، وهي فئة الجسيمات الرئيسية الأخرى، فتمتلك دوال موجة لا تتغير حينما يتبادل جسيمان موضعيهما. لذا يمكنك القول إن دوال موجاتها تُضرب بعامل يساوي (+1).

تقتضي أسبابٌ رياضياتية عميقة أن الجسيمات الكمومية في الأبعاد الثلاثة يجب أن تكون إما فرميونات أو بوزونات. أما في بعدين اثنين، فثمة إمكانية أخرى: يمكن للعامل أن يكون **طورا عُقَديا** complex phase. ويمكن تخيل الطور العقدي على شكل زاوية. فالزاوية التي تساوي 0 تقابل 1، والزاوية التي تساوي 180 درجة تقابل -1. أما الزوايا بين هاتين القيمتين فهي أعداد عقدية. على سبيل المثال، الزاوية 90 درجة تقابل i، أي الجذر التربيعي لـ(-1). وكما في حالة العامل (-1)، فإن ضرب دالة الموجة بطور لا يؤثِّر أبدا في الخصائص المقاسة للجسيم ذاته، لأن المهم في هذه الخصائص هو مطال اهتزاز الموجة فقط. ومع ذلك، فإن الطور (أي العدد العقدي) يمكن أن يغيِّر كيفية تداخل موجتين عقديتين.

تسمى الجسيمات، التي تأخذ طورا عقديا حين مبادلة مواضعها، أنيونات لأنه يمكن لهذا الطور أن يأخذ أيَّ قيمة عقدية، لا إحدى القيمتين +1 أو -1 فقط. أما الجسيمات التي تنتمي إلى **جنس** species معين، فتأخذ دائما الطور نفسه.

إلكترونات في أرض مسطحة(**)

توجد الأنيونات في عالم ثنائي الأبعاد فقط. فكيف نستطيع توليد أزواج منها لاستخدامها في الحوسبة الطبولوجية ونحن نعيش في ثلاثة أبعاد؟ إن الجواب عن هذا السؤال يكمن في مملكة الأرض المسطحة لأشباه الجسيمات. يمكن صنع شريحتين، من شبه موصل مصنوع من زرنيخ الغاليوم، بعناية كي تحتضن هاتان الشريحتان «غازًا»

(*) Topology And Knots

(**) Electrons in Flatland، و Flatland هنا إشارة إلى الرواية *Flatland: A romance of many dimensions*، للكاتب Edwin A. Abbott (1838 - 1926)، وفيها يتخيل عوالم أحادية وثنائية وثلاثية... وسداسية الأبعاد. (التحرير)

طريقة عمل الحوسبة الكمومية الطبولوجية(*)

الضَّفْر

فقط بحركتين أساسيتين في المستوي، هما مبادلة المواضع باتجاه حركة عقارب الساعة، ومبادلتها في الاتجاه المعاكس، يمكن توليد جميع طرائق الضفر الممكنة لخطوط العالَم (للمسارات عبر الزمكان) لمجموعة من الأنيونات.

حوسبة

تُولَّد أولا أزواج من الأنيونات، وتُصفُّ في سطر لتُمثِّل كيوبتات الحوسبة، أو بتات الحوسبة الكمومية. وتُحرَّك الأنيونات من أمكنتها، بمبادلة مواضع الأنيونات المتجاورة وفقا لسلسلة خطوات معينة. إن هذه الحركات تُقابل عمليات تُجرى على الكيوبتات. وفي النهاية، تُضم أزواج الأنيونات المتجاورة معا، وتُقاس لتكوين مُخْرَج output الحوسبة. ويعتمد المُخرَج على طبولوجيا الضفر المحدد الناجم عن تلك العمليات. إن الاضطرابات الطفيفة في الأنيونات لا تغير الطبولوجيا، وهذا ما يجعل الحوسبة منيعة على أخطاء المصادر العادية.

بناء بوابة منطقية

تُصنع بوابة منطقية، تسمَّى بوابة النفي المتحكَّم فيها CNOT، بعملية الضفر المعقدة هذه لستة أنيونات. تأخذ البوابة CNOT كيوبتتين في مدخلها وتُنتج كيوبتتين في مخرجها. وقد مُثِّلت هذه الكيوبتات بثُلاثيَّتَيْن (*خضراء وزرقاء*) مما يسمَّى أنيونات فيبوناتشي Fibonacci. إن أسلوب الضفر الخاص هذا، أي ترك ثلاثية واحدة في مكانها وتحريك أنيونين من الثلاثية الثانية حول أنيونات الأولى، بسَّط الحسابات المستخدمة في تصميم البوابة. وأسلوب الضفر هذا يُنتج بوابة CNOT دقتها تساوي تقريبا 10^{-3}.

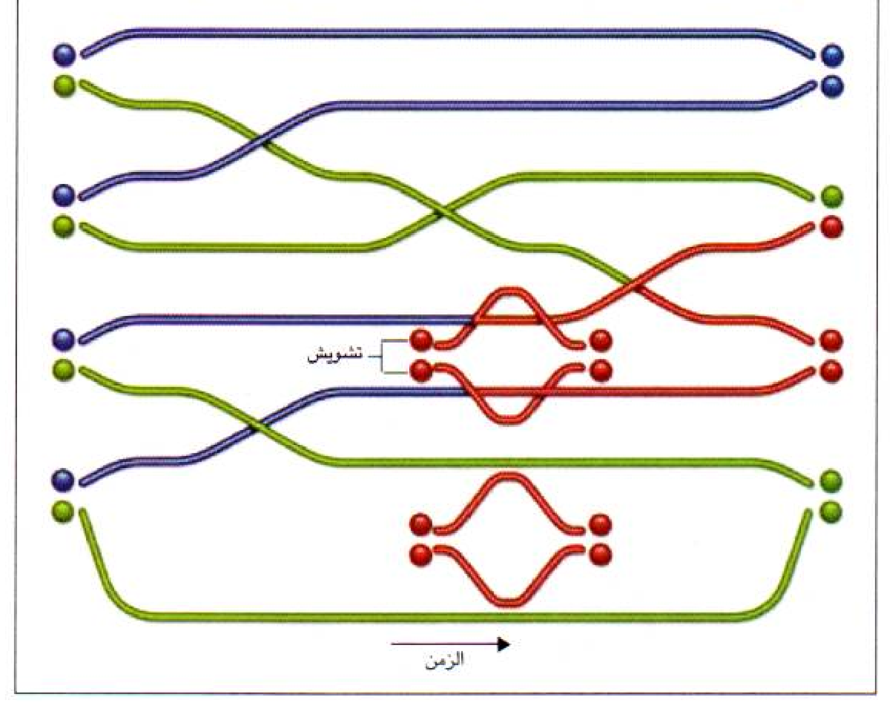
من الإلكترونات في السطح الفاصل بينهما. تتحرك الإلكترونات بحرية في بُعدي السطح الاثنين، لكنها تُمنع من الحركة في البعد الثالث، لأن ذلك يُخرجها من السطح. وقد درس الفيزيائيون باستفاضة نظم الإلكترونات هذه، التي تسمى غازات الإلكترونات الثنائية الأبعاد(1)، وخاصة حينما تُغمر في حقول مغنطيسية عرضانية قوية عند درجات حرارة منخفضة جدا، وذلك بسبب الخواص الكمومية الاستثنائية التي تظهر في هذه الظروف.

على سبيل المثال، في مفعول «هول» الكمومي الكسري، تسلك التهيُّجات في غاز الإلكترونات سلوك جسيمات ذات شحنة تساوي جزءا من شحنة الإلكترون. وتحمل تهيُّجات أخرى وحدات من **السيالة المغنطيسية** magnetic flux معها كما لو كانت السيالة جزءا لا يتجزأ من الجسيم. وفي عام 2005، ادعى <J. V. گولدمان>، و <E. F. كامينو>، و<W. زْهو> [من جامعة ستوني بروك] أنهم حصلوا على تأكيد تجريبي مباشر لما مفاده أن أشباه الجسيمات التي تحدث في حالة «هول» الكمومية الكسرية هي أنيونات، وهذه

(*) How Topological Quantum Computing Works
(1) two-dimensional electron gaz

منع الأخطاء العشوائية(*)

سوف تحصل أخطاء في الحوسبة الطبولوجية إذا ولَّدت التفاوتات الحرارية أنيونين مشوِّشين يُجدلان مع ضفيرة الحوسبة قبل أن يتفانيا ذاتيا. وهذه المشوِّشات سوف تُخرِّب (*الخطوط الحمراء*) الحوسبة. لكن احتمال هذا التداخل يتناقص أسِّيا مع المسافة التي تقطعها الأنيونات. لذا يمكن جعل معدل الخطأ أصغريا بإبقاء أنيونات الحوسبة بعيدة بعضها عن بعض بعدا كافيا (*الزوج السفلي*).



خطوة مهمة أولى في النهج الطبولوجي للحوسبة الكمومية. لكن بعض الباحثين مازالوا يستقصون سبلا مستقلة أخرى لإثبات طبيعة أشباه الجسيمات الأنيونية، لأن مفاعيل لاكمومية معينة يمكن أن تؤدي، من حيث الفكرة، إلى النتائج التي حصل عليها <كولدمان> وزملاؤه.

في البعدين الاثنين، ثمة أمر جديد مهم يبرز حين مبادلة موضعي الجسيمين: هل يتَّبع الجسيمان مسارين باتجاه دوران عقارب الساعة، أو بعكس ذلك الاتجاه، حين مبادلة موضعيهما؟ إن الطور الذي تأخذه دالة الموجة يعتمد على تلك الخاصية. فالمساران البديلان متمايزان طبولوجيا، لأن القائم بالتجربة لا يستطيع باستمرار تغيير المسارين اللذين لهما اتجاه دوران عقارب الساعة ليصبحا بعكس ذلك الاتجاه من دون جعل المسارين يتقاطعان والجسيمين يتصادمان في مكان ما.

يتطلَّب بناء حاسوب كمومي طبولوجي تعقيدا إضافيا آخر: يجب أن تتصف الأنيونات بصفة تُدعى **اللاتبديلية** nonabelian التي تُعني أن ترتيب تسلسل مبادلة مواضع الجسيمات هو أمر مهم. تخيل أن لديك ثلاثة أنيونات متماثلة مصطفة على سطر في المواضع a و b و c. بادلْ أولا موضعي الأنيونين في الموضعين a و b، ثم بادلْ موضعي الأنيونين الموجودين الآن في b و c. إن النتيجة ستكون الدالة الأصلية للموجة معدلة بعامل ما. افترض أنه جرت مبادلة موضعي الأنيونين اللذين في b و c أولا، ثم جرت مبادلة الموضعين a و b، فإذا كانت النتيجة هي دالة الموجة مضروبة بنفس العامل الذي كان من قبل المبادلة، وُصفت الأنيونات بأنها تبديلية. أما إذا اختلف العاملان بسبب اختلاف ترتيب المبادلة، كانت الأنيونات لاتبديلية (تنشأ خاصية اللاتبديلية لأن العامل الذي تُضرب به دالة موجة هذه الأنيونات يتكوَّن من مصفوفة أعداد، ونتيجة ضرب مصفوفتين تعتمد على ترتيبهما.)

لقد تضمنت التجربة التي أجراها فريق <كولدمان> أنيونات تبديلية. ومع ذلك، يوجد لدى النظريين مبررات قوية للاعتقاد بأن أشباه جسيمات معينة، من أشباه جسيمات هول الكمومية الكسرية، هي لاتبديلية حقا. وقد اقتُرحت تجربتان للإجابة عن هذا السؤال. اقترح إحداهما <فريدمان> مع <S.D. سارما> [من جامعة ماريلاند] و <C. ناياك> [من الشركة مايكروسوفت]، مع تنقيحات مهمة اقترحها <A. شترن> [من معهد وايزمان] و<B. هالبرين> [من جامعة هارفرد]. واقترح الثانية <كيتايف> و <P. بوندرسون> [من معهد كاليفورنيا للتقانة] و <K. شتنگل> [من جامعة كاليفورنيا بريفرسايد].

ضفائر وبوابات(**)

إذا حصلتَ على أنيونات لاتبديلية، فإنك تستطيع توليد تمثيل مادي لما يسمَّى **زمرة الضفيرة** the braid group. إن هذه البنية الرياضياتية تصف جميع الطرائق التي يمكن بها ضفر صف معين من الخيوط معا. ويمكن تشكيل أيّ ضفيرة من سلسلة من العمليات الأولية التي يُحرك فيها خَيْطان متجاوران باتجاه دوران عقارب الساعة أو بعكسه. إن كل سلسلة ممكنة لمعالجة الأنيونات تقابل ضفيرة، والعكس صحيح. وتقابل كلُّ ضفيرة أيضا مصفوفة شديدة التعقيد هي نتيجة ضم جميع المصفوفات الإفرادية لكل مبادلة أنيونية.

والآن، صار بين أيدينا جميع العناصر اللازمة لرؤية كيف أن هذه الضفائر تقابل حوسبة كمومية. في الحاسوب التقليدي، تُمثَّل حالة الحاسوب بحالة جميع بتاته مجتمعة، أي بسلسلة الأصفار والآحاد في سجله. وبالمشابهة، يُمثَّل الحاسوب الكمومي بحالة كل كيوبتاته مجتمعة. وفي الحاسوب الكمومي الطبولوجي، يمكن تمثيل الكيوبتات بمجموعات من الأنيونات.

في الحاسوب الكمومي، توصف سيرورة الانتقال من الحالة الابتدائية لجميع الكيوبتات إلى الحالة النهائية بمصفوفة تُضرب بدالة الموجة المشتركة للكيوبتات جميعا. إن وجه التشابه، بين ذلك وبين ما يحصل في حاسوب كمومي طبولوجي، واضح: المصفوفة هنا هي تلك المقترنة بالضفيرة المحددة المقابلة لسلسلة معالجة الأنيونات. بهذا نكون قد بيَّنا أن العمليات المُجراة على الأنيونات تُنتج حوسبة كمومية.

وثمة سمة مهمة أخرى يجب إثباتها: هل يستطيع حاسوبنا الكمومي الطبولوجي إجراء أيّ حوسبة يستطيع إجراءها حاسوب كمومي تقليدي؟ في عام 2002، أثبت <فريدمان> وزملاؤه أن الحاسوب الكمومي الطبولوجي

(*) Preventing Random Errors
(**) Braids and Gates

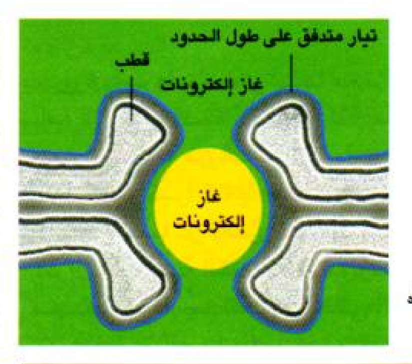
يستطيع فعلا محاكاة أي حوسبة يجريها حاسوب كمومي عادي، مع نقيصة واحدة وهي أن المحاكاة تقريبية. لكنْ إذا حُددت درجة الدقة المرغوبة، كأنْ تكون 1 من 10^4 مثلا، فإنه يمكن إيجاد ضفيرة تحاكي الحوسبة المطلوبة بتلك الدقة. وكلما ازدادت الدقة المطلوبة، ازداد عدد الجدلات في الضفيرة. ومن حسن الطالع أن عدد الجدلات اللازمة يتزايد ببطء شديد؛ لذا فليس من العسير جدا الحصول على دقة عالية جدا. لكن برهانهم لا يشير إلى كيفية تحديد الضفيرة الفعلية التي تقابل حوسبة ما، لأن ذلك يعتمد على التصميم الخاص بالحاسوب الكمومي الطبولوجي، وخصوصا، على جنس الأنيونات المستخدمة وعلاقتها بالكيوبتات الأساسية.

في عام 2005، قام <E. N. بونستيل> وزملاؤه [من جامعة ولاية فلوريدا] بمعالجة مسألة إيجاد ضفائر خاصة بإجراء حوسبات معينة. وقد بيَّن الفريق، على نحو جلي، كيفية بناء ما يُسمى بوابة النفي NOT[1] المتحكَّم فيها (أو بوابة CNOT)، بدقة جزأين من 10^3 جزء، وذلك بضفر ستة أنيونات. تأخذ البوابة CNOT مُدخَلَيْن: بتَّةُ تحكُّم وبتة متحكَّم فيها. إذا كانت بتَّة التحكم 1، فإنها تغير البتَّة الأخرى من 0 إلى 1، أو العكس. وإلا، لا تتغير البتات. وبالعمل بالكيوبتات، يمكن تركيب أيِّ حوسبة من شبكة من بوابات الـ CNOT، إضافة إلى عملية واحدة أخرى هي ضرب الكيوبتات الإفرادية بطور عقدي. وهذه النتيجة تمثل تأكيدا آخر لحقيقة أن الحواسيب الكمومية الطبولوجية تستطيع تنفيذ أي حوسبة كمومية.

تستطيع الحواسيب الكمومية تنفيذ مهام يُعتقد أن تنفيذها مستحيل بواسطة الحواسيب التقليدية. فهل من الممكن أن يكون الحاسوب الطبولوجي أكثر مقدرة من الحاسوب الكمومي التقليدي؟ تُبين مُبَرهَنة أخرى، أثبتها <فريدمان> و<كيتاييف> و<وانگ> أن الأمر ليس كذلك. فقد أوضحوا أنه يمكن محاكاة عمل الحاسوب الكمومي الطبولوجي، بكفاءة عالية وبأيِّ دقة، بواسطة حاسوب كمومي عادي، وهذا يعني أن الحاسوب الكمومي العادي يستطيع حوسبة كل شيء يستطيع الحاسوب الكمومي الطبولوجي حوسبته. إن هذه النتيجة توحي بنظرية عامة مفادها أن جميع النظم الحاسوبية، التي هي على درجة كافية من التطور والتي تستخدم موارد كمومية، تمتلك

أخطاء طبولوجية(*)

كاشف أنيوني

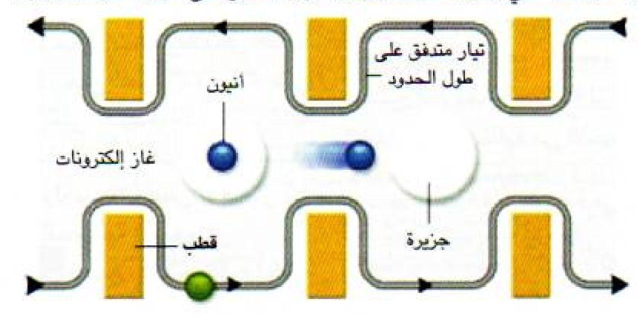


استخدم <V. J. گولدمان> وزملاؤه التجهيزة المبينة في هذا الشكل لبيان أن أشباه جسيمات معينة (تهيُّجات في حالة «هول» الكمومية) تسلك سلوك الأنيونات. لقد بُرِّدت التجهيزة إلى الدرجة 10 ميلي كلفن ووُضعت في حقل مغنطيسي شديد. وقد تشكَّل غاز إلكترونات ثنائي الأبعاد حول الأقطاب الأربعة، مع نوعين مختلفين من أشباه الجسيمات وُجدت في المنطقتين الصفراء والخضراء. وأكدت خصائص التيار المتدفق على طول الحدود أن أشباه الجسيمات التي هي في الجزيرة الصفراء، كانت أنيونية.

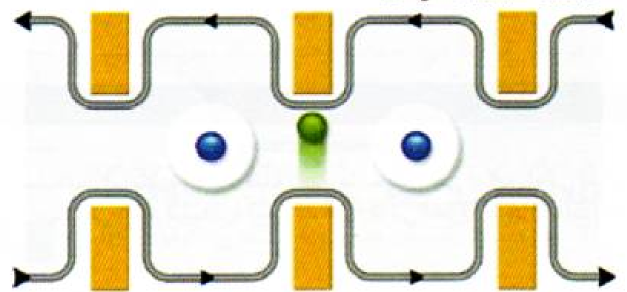
بوابة النفي

إن بوابة النفي الأنيونية المقترحة هذه تقوم على حالة «هول» الكمومية الكسرية التي تتضمن أنيونات تمتلك ربع شحنة إلكترون. وتُحرِّض الأقطاب جزيرتين يمكن أن تُؤسَر فيهما الأنيونات. ويتدفق التيار على طول الحدود، لكنه، بتوافر الظروف الملائمة، يستطيع التدفق في نفق عبر الفجوات الضيقة بين الأقطاب المتقابلة.

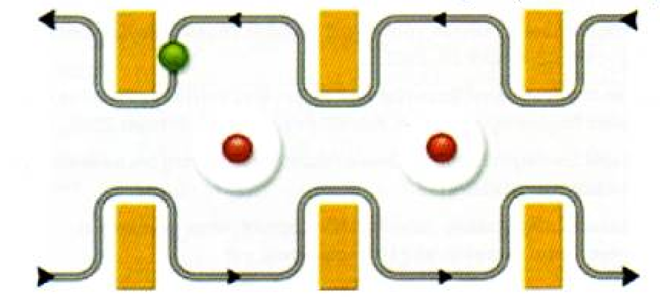
1 حَضِّر الحالة الابتدائية للبوابة بوضع أنيونين (الأزرق) في جزيرة، ثم طبِّقْ جهدا كهربائيا لنقل أنيون واحد إلى الجزيرة الأخرى. يمثِّل هذا الزوج من الأنيونات الكيوبتة في حالتها الابتدائية التي يمكن تحديدها بقياس التيار المتدفق على طول الحدود المجاورة.



2 لقلب حالة الكيوبتة (عملية النفي)، طبِّقْ جهودا كهربائية لجعل أنيون واحد من الحدود (الأخضر) يعبر التجهيزة بقطع نفق.



3 إن عبور هذا الأنيون يغير علاقة الطور بين الأنيونين، وهذا ما يجعل قيمة الكيوبتة تنقلب إلى الحالة المعاكسة (الأحمر).



(*) Topological Errors

(1) البوابة المنطقية NOT.

لقد قدَّر الباحثون الثلاثة أن معدل الخطأ في بوابة النفي التي اقترحوها يمكن أن يساوي 10^{-30} أو أقل.

القدرات الحوسبية نفسها تماما (كان <A. تْشَرْش> و <A. تورينك> قد اقترحا أطروحة مماثلة في ثلاثينات القرن العشرين حول الحوسبة التقليدية).

جسيمات داخلة، وإجابات خارجة(*)

لقد تغاضيتُ حتى الآن عن سيرورتين حاسمتين لبناء حاسوب كمومي طبولوجي عملي، هما إعطاء القيم الابتدائية للكيوبتات قبل بدء الحوسبة وقراءة الجواب في النهاية.

تتضمن الخطوة الابتدائية توليد أزواج من أشباه الجسيمات، والمشكلة حينئذ هي معرفة نوع أشباه الجسيمات التي جرى توليدها. إن الإجراء الأساسي لتحقيق ذلك هو تمرير أنيونات اختبار حول الأزواج المولَّدة، ثم قياس الكيفية التي تغيرت بها أنيونات الاختبار في تلك السيرورة، والتي تعتمد على نوع الأنيونات التي مرت بها (إذا تغير أنيون اختبار، فإنه لن يتفانى تماما مع قرينه). بعدئذ تهمل أزواج الأنيونات التي ليست من النوع المطلوب.

وخطوة قراءة النتيجة تتضمن أيضا قياس حالات أنيونية. وحينما تكون الأنيونات بعيدة بعضها عن بعض، يكون ذلك القياس مستحيلا، ولذا يجب تجميع الأنيونات في أزواج بغية قياسها. وعلى وجه التقريب، يشبه هذا القياس التحقُّق من أن الأزواج تتفانى تماما، على غرار الجسيمات المضادة الحقيقية، أو أنها تترك وراءها رواسب من الشحنة والسيالة flux، التي تكشف عن الكيفية التي تغيرت بها حالاتها بالضفر، انطلاقا من علاقة الجسيم المضاد نفسها التي استهلاً بها حياتهما.

من ناحية أخرى، ليس صحيحا أن الحاسوب الطبولوجي منيع تماما على الخطأ. ومصدر الخطأ الرئيسي فيه هو التفاوتات الحرارية في مادة الركيزة(1) التي يمكن أن تولِّد زوجا إضافيا من الأنيونات، فينجدل كل من الأنيونين مع ضفيرة الحوسبة، وفي النهاية يتفانيان ثانية [*انظر الإطار في الصفحة 66*]. لكنْ من حسن الطالع أن سيرورة التوليد الحرارية تُكبت عند درجة الحرارة المنخفضة التي يعمل عندها الحاسوب الطبولوجي. يُضاف إلى ذلك أن احتمال حدوث تلك السيرورة بأسرها ينخفض أسيا مع تزايد المسافة التي على الدخلاء قطعها. لذا يمكن تحقيق أيِّ درجة من الدقة المطلوبة، ببناء حاسوب كبير كبرا كافيا لإبقاء الأنيونات العاملة بعيدة بعضا عن بعض أثناء ضفرها.

لاتزال الحوسبة الكمومية الطبولوجية في مهدها، إذ لم يُستعرض حتى الآن وجود عناصر العمل الأساسية، أي الأنيونات اللاتبديلية، ولم تُبنَ أبسط البوابات المنطقية. لكن تجربة <فريدمان> وزملائه المذكورة آنفا يمكن أن تحقِّق هذين الهدفين ـ إذا ثبت أن أنيونات التجربة لاتبديلية، وفقا لما هو متوقع، فإن التجهيزة يمكن أن تطبِّق عمليةِ النفي المنطقية على الحالة الكيوبتية. ويقدِّر هؤلاء الباحثون أن معدل الخطأ في السيرورة يمكن أن يكون 10^{-30} أو أقل. ينجم معدل الخطأ الضئيل هذا عن أن احتمال الخطأ يتناقص أسِّيا مع انخفاض درجة الحرارة وزيادة طول المسافة التي على الأنيونات المشوشة قطعها. إن عامل الأسِّية هذا هو الإسهام الجوهري للطبولوجيا، وليس له نظير في النُّهُج التقليدية للحوسبة الكمومية.

إن الأمل في الحصول على معدلات أخطاء منخفضة انخفاضا استثنائيا، أي أصغر بمراتب كِبَر(2) كثيرة من تلك التي يمكن الحصول عليها بواسطة طرائق الحوسبة الكمومية الأخرى حتى الآن، هو ما يجعل الحوسبة الكمومية الطبولوجية مغرية. أما التقانات اللازمة لصنع تجهيزة «هول» الكمومية الكسرية، فهي ناضجة أيضا، إذ إنها هي نفسها تلك المستخدمة في صناعة الشيپات الميكروية. أما المثلبة(3) الوحيدة فهي أن هذه التجهيزات يجب أن تعمل عند درجات حرارة منخفضة جدا، من رتبة الملِّي كلفن، كي تبقى أشباه الجسيمات السحرية مستقرة.

إذا كانت الأنيونات اللاتبديلية موجودة فعلا، فإن الحواسيب الكمومية الطبولوجية سوف تتجاوز تصاميم الحاسوب الكمومي التقليدية في سباق الارتقاء من الكيوبتات والبوابات الإفرادية إلى آلات تامة النضج وجديرة بأن تسمى «حاسوبا». إن إجراء الحسابات بالعقد والضفائر الكمومية، وهو نهج بدأ وكأنه بديل طلسمي(4)، يمكن أن يُصبح الطريقة السائدة لتنفيذ حوسبة كمومية عملية خالية من الأخطاء. ■

(*) Particles In, Answers Out

(1) substrate material، و substrate هي لوحة سيليكونية عادة يُرسَّب عليها شبه الموصل.

(2) order of magnitude: إذا كان x أكبر من y بثلاث مراتب كِبر، فإن هذا يعني أن x أكبر من y بألف مرة: $x = 10^3 y$.

(3) catch

(4) esoteric لا يفهمه إلا الخاصة.

(التحرير)

المؤلف

Graham P. Collins

كاتب في المجلة «ساينتفيك أمريكان» وعضو هيئة تحريرها. حصل على الدكتوراه في الفيزياء من الجامعة ستوني بروك. وهو يود شكر <M. H. فريدمان> [مدير المشروع Q في الشركة مايكروسوفت] على إسهاماته في إعداد هذه المقالة.

مراجع للاستزادة

Topologically Protected Qubits from a Possible Non-Abelian Fractional Quantum Hall State. Sankar Das Sarma, Michael Freedman and Chetan Nayak in *Physical Review Letters*, Vol. 94, pages 166802-1–168802-4; April 29, 2005.

Devices Based on the Fractional Quantum Hall Effect May Fulfill the Promise of Quantum Computing. Charles Day in *Physics Today*, Vol. 58, pages 21–24; October 2005.

Anyon There? David Lindley in *Physical Review Focus*, Vol. 16, Story 14; November 2, 2005. http://focus.aps.org/story/v16/st14

Topological Quantum Computation. John Preskill. Lecture notes available at www.theory.caltech.edu/~preskill/ph219/topological.pdf

Scientific American, April 2006

تتمة الصفحة 61 (طاقة لدفع طائرة فضائية)

الفضاء بغية التثبت من صحة هذه التقانات المهمة أثناء الطيران.

تحديات المستقبل[*]

إذا افترضنا أن الاختبارات الجارية أثناء الطيران على مركبة البيان العملي SED كانت ناجحة، فإن هناك الكثير من الأمور التي يجب القيام بها قبل أن يصبح بالإمكان تحقيق بعض التطبيقات، مثل الإطلاق السريع الاستجابة للأسلحة[1] والطيران الطوافي[2] فوق الصوتي المستدام والوصول إلى الفضاء بتكلفة مستطاعة.

يجب أن تكون محركات سكرامجت قادرة على العمل بأسلوب يمكن الوثوق به على مدى واسع من الأعداد الماخية. وكما ذكرتُ سابقا، فإن التوربينات الغازية الحالية تعد فعالة بين 0 و 3 أو 4 ماخ، في حين يعتبر الصاروخ ضروريا في مراحل من نظام سرعة الطيران تكون فيها السرعة أعلى من 15 ماخ تقريبا. ففي هذه السرعات العالية، تصبح محركات سكرامجت غير قادرة على تحمل التسخين الحراري على الارتفاعات التي يتطلبها سفط كمية الهواء الكافية لحرق الوقود. لذا ينبغي للباحثين أن يبتكروا أنواعا من محركات سكرامجت تستطيع تلبية حاجات التأقلم مع أكبر عدد ممكن من البيئات الملائمة لتغطية المدى الواقع بين 4 و15 ماخ. وفي بعض التطبيقات، يجب أن يكون محرك سكرامجت متكاملا كليا مع دورة منخفضة السرعة مثل دورة التوربين الغازي. ويعني ذلك أن أنظمة السرعة التشغيلية لهذه المحركات يجب أن يتراكب بعضها فوق بعض للسماح بانتقال سلس فيما بينها. ويجب على المهندسين، أيضا، أن يسعوا إلى منع الكتلة الزائدة لأنظمة الدفع المختلفة من أن تكون عبئا إضافيا على أي مركبة متعددة المحركات في الوقت الذي تتحكم فيه بدقة في مدد نوبات عمل كل منها.

لا تستطيع المركبة X-51A، بتصميمها ذي الشكل الهندسي الثابت، أن تخفض تخفيضا جوهريا حدّها التشغيلي. وسوف تكون الهندسة الداخلية المتغيرة لمحرك سكرامجت ضرورية للسماح له بالعمل في أعداد ماخية أدنى من 4 ماخ. ومع أن سلاح الجو الأمريكي والوكالة ناسا ليسا طرفا في الجهود المبذولة ضمن البرنامج SED، فإنهما عرضا في أحد محركات هايتك نموذجا أوليا لمنفذ دخول ذي شكل هندسي متغير، تكون الجنيحات المتحركة فيه قادرة على تغيير أشكالها الانسيابية.

ويمكن لتقانة الوقود أن تحد أيضا من فائدة محرك سكرامجت في كل من طرفي الغلاف التشغيلي الحالي. فقد صممت المركبة X-51A بحيث لا تعمل إلا بعد حصول تسخين بنيوي كاف لتحويل الوقود JP-7 إلى حالته الغازية. وفيما يتعلق بالسرعات الماخية التي هي أكثر انخفاضا، فقد يكون المطلوب أن تعمل غرف احتراق الجيل القادم من محركات سكرامجت مدة وجيزة، باستخدام الوقود السائل أو مادة داسرة تشمل الطورين السائل والغازي معا، قبل أن تتحول إلى العمل باستخدام وقود غازي كليا في المرحلة اللاحقة من الطيران. والمعروف أن السوائل أكثف 1000 مرة من الغازات، وهذا يقتضي ضرورة أن تنفذ مهمة تزويد محرك سكرامجت بالوقود والحفاظ على احتراق ودفع مستقرين خلال مرحلة الانتقال من المادة الداسرة السائلة إلى الوقود الغازي الصرف، بمستوى عال من البراعة. غير أن البرهان على هذه الإمكانية قد تم من خلال فحوص المكونات التي أُجريت في سياق الجهود البحثية المتعلقة بمحرك هايتك. أما في الطرف الآخر من الغلاف، حيث تكون السرعة عالية، فقد تبين أن السعة الحرارية لوقود الطيران النفاث، وحتى لأنواعه التي يكون تفكيكها مصحوبا بامتصاص للحرارة، مثل الوقود JP-7، سوف تتدنى كلما اقتربت السرعة من 8 ماخ. لذلك فإن الطيران بسرعة أكبر سوف يتطلب أنواعا مختلفة جدا من الوقود ومواد متطورة مقاومة للحرارة ـ أو ربما استخدام مادة الهدروجين على الرغم من اللوجستيات المصاحبة والتحديات التي تفرضها طرق تعبئته في المركبة.

لقد كان التركيز الأولي في برنامج هايتك منصبا على مركبات بحجم الصاروخ وتطلق من الطائرات. أما في التطبيقات الأخرى، مثل الطيران الطوافي فوق الصوتي المستدام والوصول إلى الفضاء، فقد برزت الحاجة إلى مركبات أكبر بكثير. ولايزال البرنامجان، اللذان بدئ العمل بهما عام 2003، وهما البرنامج فالكون التابع للوكالة DARPA، والبرنامج Robust Scramjet التابع لسلاح الجو الأمريكي، يكافحان لحل القضايا المتعلقة بالمحركات التي هي أكبر حجما، وبقدرات الدفق الهوائي، التي تفوق 100 مرة قدرات التجهيزات الحالية للمحرك هايتك.

لقد حققت الجهود الأخيرة، المبذولة في تطوير تقانة محرك سكرامجت، تقدما عظيما في التغلب على عقبات كأداء واجهت تحقيق طيران مستدام عالي السرعة. ونحن نأمل في أن يؤدي هذا التطور المستمر إلى التقدم ببطء، إن لم يكن بخطوات واسعة، كي نتوصل في المستقبل، غير البعيد جدا، إلى تحقيق شيء يشبه محرك الطائرة المتصالبة الجناحين التي نراها في أفلام «*حرب النجوم*». ■

Future Challenges (*)

rapid-response weapons delivery (1)

hypersonic cruise (2)

المؤلف

Thomas A. Jackson

هو نائب رئيس شعبة العلوم في قسم الدفع الفضائي بمديرية الدفع في مختبر الأبحاث التابع لسلاح الجو الأمريكي بأوهايو، حيث يعمل على تحديد وجهة الدراسات العلمية في التقانة المتقدمة لمحركات الدفع التي تعمل بسفط الهواء. وقد حصل على الدكتوراه في الهندسة الميكانيكية من جامعة كاليفورنيا في إيرفاين عام 1985، وعلى الماجستير في إدارة التقانة من قسم الإدارة في كلية سلون التابعة لمعهد ماساتشوستس للتقانة MIT. وانصبت أبحاثه، في المقام الأول، على تقانات الاحتراق وحقن الوقود في محركات الدفع.

مراجع للاستزادة

Ramjets. Edited by Gordon L. Dugger. American Institute of Aeronautics and Astronautics Selected Reprint Series, 1969.

A Procedure for Optimizing the Design of Scramjet Engines. P. J. Waltrup, F. S. Billig and R. D. Stockbridge in *Journal of Spacecraft and Rockets,* Vol. 16, No. 3, pages 163–171; May–June 1979.

Research on Supersonic Combustion. F. S. Billig in *Journal of Propulsion and Power,* Vol. 9, No. 4, pages 499–514; July–August 1993.

Hypersonic Airbreathing Propulsion. William H. Heiser, David T. Pratt, Daniel H. Daley and Unmeel B. Mehta. American Institute of Aeronautics and Astronautics Education Series, 1994.

Investigation of Scramjet Injection Strategies for High Mach Number Flows. D. W. Riggins, C. R. McClinton, R. C. Rogers and R. D. Bittner in *Journal of Propulsion and Power,* Vol. 11, No. 3, pages 409–418; May–June 1995.

Scientific American, August 2006

تطبيقات متزايدة
الاستنتات الوعائية[*]

لقد انتشر زرع الاستنتات[1] (الوشائع) مؤخرا انتشارا واسعا (والاستنتات هي أسطوانات معدنية دقيقة مخلخلة تستخدم لتوسيع الشرايين المريضة المتضيقة) مما دفع بعض الأطباء إلى القول بأن ثمة إفراطا اليوم في إجراء عملية زرع الاستنتات... لكن المدافعين عنها يقولون إن هذه الاستنتات ما فتئت في تطور مستمر منذ عشرين سنة، وإنها أصبحت تمثل خيارا مهما بديلا عن عمليات القلب المفتوح. فطوال عقود مضت كان مرضى الشرايين الإكليلية، الذين تضيقت شرايينهم بفعل توضع ترسبات شحمية (عصائد شريانية)، بحاجة إلى أن تجرى عليهم عمليات قلبية يستخدم فيها جزء من شريان أو وريد من المريض نفسه كمجازة[2] وعائية لتخطي هذه التضيقات. وكذلك كان الجراحون يجرون عمليات مشابهة على المصابين بانسدادات شريانية في نواحٍ أخرى من الجسم، أو كانوا يفتحون الشريان المغلق لتنظيفه من الترسبات. لكن عندما بدأ **رأب الأوعية** angioplasty وتوسيع الشرايين المريضة بالبالون، قل احتياج مرضى الشرايين إلى عمليات القلب المفتوح؛ فالبالون يُدخل بالتخدير الموضعي بوساطة **قثطار**[3] catheter رفيع في الشريان، ويُدفع إلى مكان الإصابة، حيث يُنفخ ليضغط على العصيدة ويحطمها فيفتح بذلك المجرى المتضيق ويسمح للدم بالجريان... ومع ذلك فكثيرا ما كان الشريان يعود للتضيق برد فعل منعكس من جدار الشريان، أو نتيجة نمو نسيج ليفي ارتكاسي فيه.

وأما عملية زرع الاستنت الشرياني فهي عملية شبيهة بعملية التوسيع بالبالون، إنما تهدف إلى الإبقاء على الشريان مفتوحا [*انظر الشكل في الصفحة المقابلة*]. وأهم الشرايين المستهدفة في هذه العملية بلا شك هي شرايين القلب الإكليلية التي تغذي العضلة القلبية؛ لكن الشرايين الأخرى صارت أيضا تعالج بهذه الطريقة بشكل متزايد. وقد كانت الاستنتات الأولى (التي رُخصت للاستعمال في بواكير التسعينات) مصنوعة من الفولاذ الذي لا يصدأ. ثم ظهرت الاستنتات التي تتوسع ذاتيا والمصنوعة من خليطة معدني النيكل والتيتانيوم، تلك الخليطة التي لها خاصية الاحتفاظ على أي تبدل في الشكل. أخيرا رُخِّص في الولايات المتحدة عام 2003 للاستنتات المغطاة بمركبات (پوليميرات) تسمح بتحرير تدريجي لأدوية مانعة لنمو النسج [ذلك النمو المسؤول عن نكس التضيقات الشريانية]، مما روج كثيرا لاستخدام الاستنتات.

ويقول الناقدون إن الأطباء يستخفون بالأخطار المحتملة لهذه الاستنتات ويتعجلون في إدخالها إلى شرايين المرضى. لكن مدير مركز الأوعية في مستشفى ماساتشوستس العام في بوسطن <M. جاف> يقول: «لقد حققت الاستنتات ثورة في العناية بالمرضى.» فبعد أن كان نحو 30% من المرضى الذين عولجوا بالاستنتات العادية يتعرضون لنكس في تضيق شرايينهم، هبطت هذه النسبة إلى أقل من 10% عندما استخدمت الوشائع الدوائية. ويلحظ <جاف> أن هناك براهين علمية ودراسات مكثفة تثبت أن الاستنتات الإكليلية **المحررة للأدوية** drug-eluting هي الأنجع في معالجة التضيقات الإكليلية. أما بالنسبة إلى التطبيقات الأخرى على الشرايين المحيطية، فمع أن الاستنتات تبدو مفضلة على غيرها من طرق العلاج، فإن تلك الملاحظة مازال يعوزها الإثبات العلمي.

يُسارع مصنعو الأدوات الطبية في مجاراة تزايد الطلب على الاستنتات. ويصرح <B. فيرث> [نائب الرئيس للشؤون الطبية في مؤسسة كورديس] إن شركته تقوم حاليا بتطوير استنتات خاصة بتوسيع الشريان الفخذي السطحي[4] بالفخذ، والشريان المأبضي[5] تحت الركبة. ويقول <فيرث&gt» إن استخدام الاستنتات يتزايد باطراد، وهذه النزعة ستستمر على الأغلب. ■

<M. فيشيتي>

(*) VASCULAR STENTS

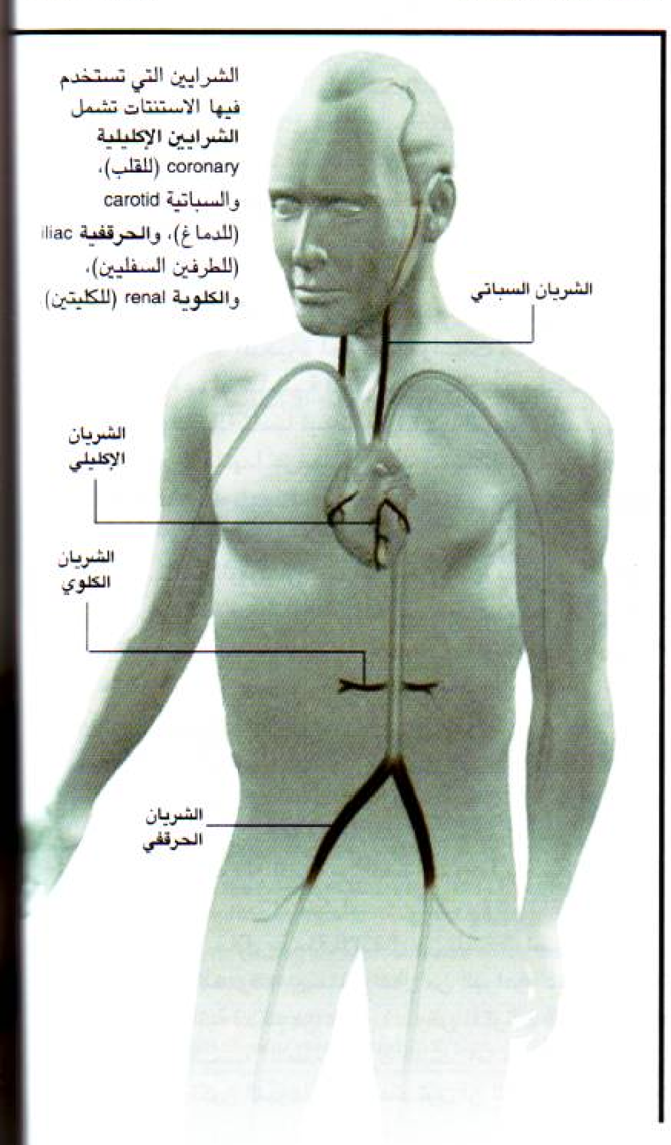
(١) ج: استنت (أو وشيعة): تعريب للمصطلح stent الذي ينسب إلى طبيب الأسنان الإنكليزي Charles Stent (1807 - 1885) الذي اكتشف مادة صلبة تتلين بالحرارة وتستعيد صلابتها بالبرودة، وتستعمل في طب الأسنان لإجراء الطبعات وفي الجراحة لتثبيت الطعوم.

(٢) bypass

(٣) أداة على شكل أنبوب أجوف تستخدم لإدخالها في القنوات أو الأوعية الدموية لحقن أو سحب السوائل.. وتسمى عملية استخدامها قثطرة (أو قسطرة).

(٤) superficial femoral artery

(٥) popliteal artery

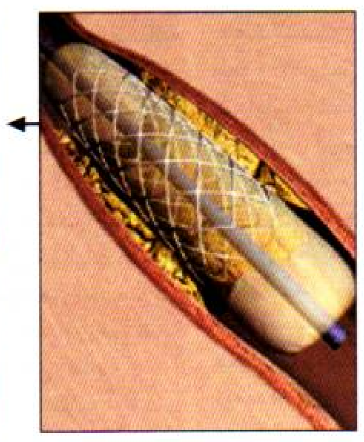


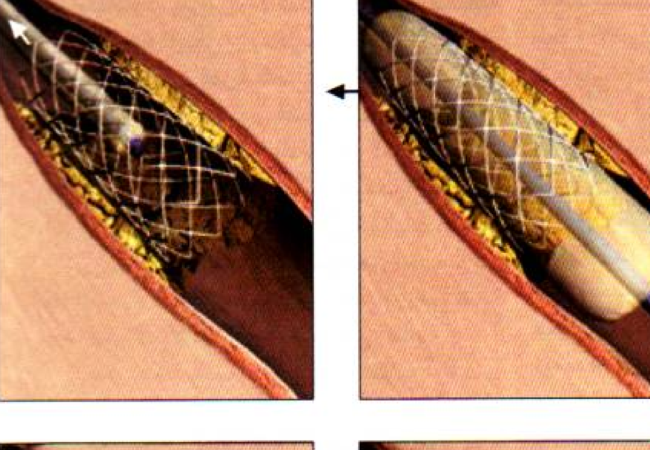
الشرايين التي تستخدم فيها الاستنتات تشمل **الشرايين الإكليلية** coronary (للقلب)، والسباتية carotid (للدماغ)، **والحرقفية** iliac (للطرفين السفليين)، **والكلوية** renal (للكليتين)

■ **التقاط فُتات العصيدة**[١]: إن التوسيع بالاستنتات يحطم العصيدة الشريانية، مما يُطلق كِسرات bits من مخلّفات هذا الحطام. وتتحمل معظم أعضاء الجسم انطلاق هذه الكسرات من المخلفات العصيدية من دون آثار جانبية تذكر، وذلك على حد قول <د. نيلسون هوپكنز> [رئيس قسم الجراحة العصبية بجامعة ولاية نيويورك]. إلا أن هذه المخلفات قد تتسبب في حدوث سكتة stroke دماغية إذا توضعت في شريان يتفرع إلى الدماغ. لذلك اخترعت عدة شركات أدوات ترشيح خاصة لالتقاط هذه الكسرات العصيدية في حالات توسيع أحد الشرايين السباتية بالاستنت (*انظر الشكل في الأسفل*). وفي بعض الحالات الأخرى يستخدم البالون لإغلاق مجرى الدم في الشريان خلال عملية التوسيع، ثم تقوم قثاطر خاصة بشفط مخلفات التوسيع قبل «تفريغ» البالون وإعادة جريان الدم الطبيعي.

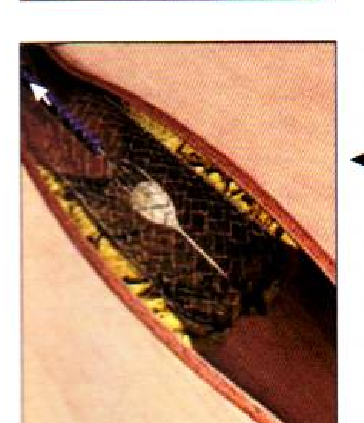
■ **لمنع التخثر**[٢]: قد تتشكل الخثرات الدموية blood clots في أي مكان تجرى فيه عملية داخل الشريان أو حول أي أداة تزرع ضمنه؛ لذلك توصف للمرضى الذين تجرى عليهم عملية التوسيع، أدوية تمنع صُفيحات platelets الدم من التجلط وتشكيل الخثرات لفترة شهر إلى سنة، إضافة إلى الأسپرين الذي هو عماد المعالجة الدوائية المضادة للصفيحات.

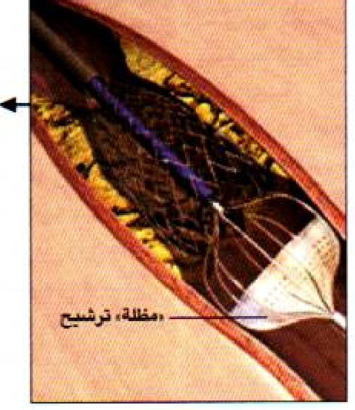
■ **مقاس واحد لا يصلح لجميع المرضى**[٣]: يُحدد الاستنت بحسب حجم الشريان المعالج، الذي يقدر أولا بالأشعة ثم أثناء عملية التوسيع ذاتها. ومعظم الشرايين الإكليلية تراوح أقطارها ما بين 2 و 4 مم، في حين تراوح أقطار الشرايين السباتية ما بين 4 و 6 مم. وتفضل الاستنتات التي توسع بالبالون في عمليات توسيع الشرايين الإكليلية، لأن حجمها في النهاية يحدده حجم البالون المستعمل. أما بالنسبة إلى الشرايين السباتية فتفضل الاستنتات التي تتوسع من ذاتها لأنها مقاومة للضغط. وكما هو معروف تقع الشرايين السباتية قريبا من جلد العنق، فإذا استخدمت فيها الاستنتات العادية كانت معرضة للتضييق إذا أصابها أي ضغط خارجي.

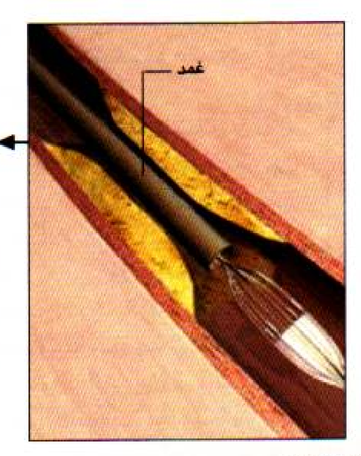




إن الاستنتات القابلة للتوسع بالبالون، والتي تستعمل عادة لتوسيع الشرايين الإكليلية، تُجمع على البالون وتدفع بقثطار إلى موضع الشريان المتضيق. وينفخ البالون (ربما عددا من المرات) ليفتح الاستنت ويحطم العصيدة الشريانية ويضغطها على جدار الشريان. بعد ذلك يُفرّغ البالون ويسحب بالقثطار.







تستخدم الاستنتات القابلة للتوسع الذاتي في معظم عمليات توسيع الشرايين **السباتية** carotid. يُدفع الاستنت داخل **غمد** sheath ضيق. فإذا سحب الغمد توسع الاستنت ذاتيا. ويمكن أن يستخدم بالون فيما بعد لزيادة تثبيت **العصيدة** the plaque والاستنت. كذلك يمكن أن تستخدم «مظلة» ترشيح خلال عملية التوسيع لالتقاط الكِسرات التي قد تنفصل عن العصيدة وتغلق أحد شرايين الدماغ، مسببة السكتة الدماغية.

نسيج ليفي

العصيدة المُحطمة

طبقة خلايا البطانة الشريانية

استنت محرر للدواء

تولد العصيدة الشريانية المحطمة[٤] ردود فعل نسيجية التئامية قد تؤدي إلى تضييق المجرى (لمعة الشريان)، ويعالج هذا الأمر باستعمال الاستنتات المحررة للأدوية المغطاة **ببوليمير** polymer قادر على تحرير دواء على مدى عدة أسابيع يمنع تشكل طبقات جديدة من النسيج الليفي، لكنه يسمح بنمو خلايا البطانة الشريانية التي عادة ما تبطن الوعاء. وفي آخر الأمر، تغطي الخلايا دِعامات الاستنت مما يقلل احتمال تجمع الصفيحات عليها وتَشكل الخثرات السادة.

---

(١) plaque catcher

(٣) one size does not fit all

التهابات الجسم(*)

إن معرفة كيف يمكن للنيكوتين أن يوقف الالتهاب قد تساعد على ابتكار أدوية جديدة.

أصبحت صورة النيكوتين قَيْدَ التعديل والتغيير على الأقل من وجهة النظر الطبية البيولوجية، فقد وجد الباحثون أنَّ هذه المادة يمكنها أن تُلَطِّفَ أعراض بعض الأمراض كداء ألزايمر والتهاب القولون القرحي. وعلى أية حال فقد بقيت كيفية مقاومة النيكوتين لهذه الأمراض غير واضحة. ولكن في الوقت الحاضر وبعد دراسة الإنتانات أظهر <L. ألو> [من مستشفيات جامعة الشاطئ الشمالي في منهاسيت، نيويورك] بالأدلة أنَّ السُّبُل الكيميائية البيولوجية للنيكوتين يمكنها أنْ تؤدي إلى إنتاج المزيد من الأدوية القوية المضادة للالتهاب.

إنَّ الإنتانَ الدمويَّ أكثرُ حالات الالتهاب إماتة، وهو غزو بكتيري للدم، وهو السبب الثالث من أسباب الوفاة في العالم المتقدم، ويعتبر مسؤولا عن 10% من الوفيَّات في الولايات المتحدة سنويا. وتسبب العدوى جزءا من التخريب النسيجي، إلاَّ أنَّ الذي يجعل المصابين في حالة خطرة هو النمط العنيف لاستجابتهم المناعية.

تنتج البلاعم كمِّيَّات كبيرة من طلائع الالتهاب التي تسمى **السيتوكينات** cytokines، وتؤدي هذه الاستجابة المناعية المتفاقمة إلى تخريب النسج. وفي النهاية كثيرا ما يموت المريض بسبب الخلل الوظيفي القلبي الوعائي وفشل وظيفي يصيب عدة أعضاء.

لقد وجد <ألو> ومساعدوه شيئا متميزا: يمكن للنيكوتين أن يمنع هذه الاستجابة الالتهابية المفرطة إلى درجة تراجع حالة الإنتان لدى الفئران. وبأقصى ما يمكن من استمرارية مضادات الالتهاب فإنَّ هذه المادة تعتبر قوية. وفي مؤتمر مؤسسة نوفارتس المنعقد بلندن في الشهر 2 صرّح <ألو> قائلا: «إنَّ النيكوتين ينقر على وتر الآليات المضادة للالتهاب الخاصة بالجسم ذاته. وهذا من جماليات أسلوبنا، فباستعمال النيكوتين نقوم بتكرار الآليات الفيزيولوجية المنتقاة بالتطور لتعديل نظام الجهاز المناعي.»

يُحاكي النيكوتينُ بشكل خاص عملَ الأستيل كولين، الذي يُعتبَر بمثابة سندريلا الناقلات العصبية، فلقد تم تجاهل دوره بشكل كبير خلال سنوات، ثم لمعَ نجمه بدور البطولة، حيث تبين أنه يربطُ الأعصابَ بالجملة المناعية. وتسيطر الجملة العصبية على شدة الالتهاب التي تحصد خلايا أجسامنا بوساطة مادة الأستيل كولين. ولا توجد مستقبلات الأستيل كولين في نهايات الخلايا العصبية وحدها، بل توجد أيضا على سطح الخلايا المناعية. ويربطُ الأستيل كولين بين هذه المستقبلات وينشطُها، ما يسمح بالتخاطب المتبادل بين الدماغ والجملة المناعية.

«لقد بات هذا الأمرُ ظاهرا تماما،» كان ذلك تعليق <W. دي جونك> [من المركز الطبي الأكاديمي في أمستردام، الذي درس كيفية استجابة البلاعم (الخلايا البالعة) للأستيل كولين]. وقد أبدى ملاحظته بقوله: «يبدو أنَّ المدخنين الذين يعانون التهاب القولون القرحي يستفيدون من ممارستهم عادة التدخين، ومنه يمكن ملاحظة أنَّ النيكوتين يُلَطِّفُ الأمراض الالتهابية، ولكن لا يستطيع أحد التعامل مع ذلك الموضوع تماما.»

ويمكن أن يكون فريق <ألو> قد قدم تفسيرا في الوقت الحاضر للتأثيرات الإيجابية المستفادة من النيكوتين في بعض الأمراض المتنوعة، مثل الفصام وداء ألزايمر وداء باركنسون ومتلازمة توريت والتهاب القولون القرحي. وفي التجارب المختبرية، أظهر <ألو> أنَّ النيكوتين يرتبط بالمستقبلات الخاصة به الموجودة على سطح الخلايا البالعة ويمنعها من قذف السيتوكينات الالتهابية، ويعتبر هذا القَمْعُ فعالا جدا. كما حدَّدَ الباحثون مستقبلات نوعية فرعية تسمى مستقبلات الأستيل كولين الألفائية 7، التي يرتبط بها النيكوتين في البلاعم لإيقاف إنتاج السيتوكينات.

ويبقى الحديث عن أن يكون النيكوتين دواء أمرا غير معقول نتيجة سُمِّيَّته. وبغض النظر عن طبيعته التي قد تسبب الإدمان، فإنه قد يسبب مشكلات وعائية قلبية، كما يسهم في حدوث السرطان؛ ولذلك يقول <ألو>: «لا يوجد أحد يتطلع إلى استخدام النيكوتين لمعالجة الالتهاب.. ونحن نريد تصميم مركبات نوعية نموذجية تستهدف هذه المستقبلات لتعطي الفوائد التي يحققها النيكوتين من الفعالية المضادة للالتهاب، مع التخلص في الوقت ذاته من سميته كتأثير جانبي له.»

«هذه إحدى القصص أو المآثر العظيمة في علم المناعة التي جرت في السنوات القليلة الماضية، ولا يوجد سؤال حول ذلك،» هكذا قال خبير الرعاية الطبية الفائقة في جامعة بتسبورگ <M. فينك>. وقد تكون المعالجةُ بمركب انتقائي يشبهُ النيكوتين المعالجةَ الواعدةَ، ليس فقط ضد الإنتان بل ضد الأمراض المزمنة البطيئة، بما في ذلك أمراض القلب والسرطان والسُّكَّري. وإنَّ المهمَّةَ المطروحة بين أيدينا هي إيجاد أفضل بديل للنيكوتين، وتبقى أطباق بتري المُعَوَّلُ عليها في رصد ذلك الهدف، حسب تعبير <ألو>. ■

<L. ميلتون>، مقيمة في لندن



النيكوتين مضادُ التهاب فعَّال وقوي، لكنه شديد الخطورة إلى درجة تمنع استعماله في العلاج.

لمحة عن النيكوتين(**)

يمكن للنيكوتين في عمله كمضاد التهاب فعال أنْ يثبط استجابةً مناعيةً خطرة، لكنه خطر جدا باستخدامه في العلاج. ولحسن الحظ يمكن أنْ يوجد له بدائل، وقد طوَّرت شركات صيدلانية أدويةً مشابهة للنيكوتين مثل GTS-21 الذي صُمِّم لتنشيط مستقبلات الأستيل كولين الألفائية 7 في أدمغة المصابين بداء ألزايمر، لكن التجارب السريرية فشلت في إظهار فائدة واضحة لهذه الأدوية، ولذلك سُحبت. وربما لم تكن هذه المركبات قادرة على عبور الحائل (الحاجز) الدموي الدماغي، وهو الأمر الذي سيعتبر ميِّزة لها كونها مركبات مضادة للالتهاب، إذ يمكن عندها استهداف النسج المحيطة بالدماغ مع تجنب الدماغ بذاته. ولقد بدأ الباحثون باختبار مثل هذه البدائل لمقاومة الالتهاب.

(*) BODY BLAZES
(**) A Nick of Nicotine

المجلد 22 ـ العددان 9/8
أغسطس/ سبتمبر 2006



الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

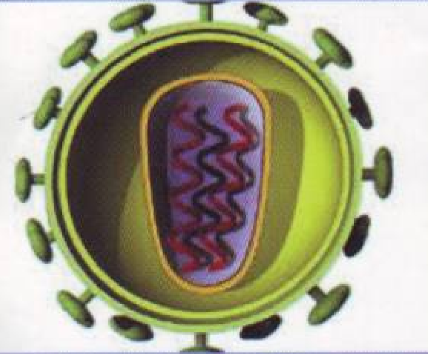
SCIENTIFIC AMERICAN
August/ September 2006



حماية تتعدى عالم الحيوان



إيقاف داء ألزهايمر



انقضاض جديد على فيروس الإيدز



لماذا تبدو بعض الحيوانات ذكية جداً؟

هل العولمة تساعد فقراء العالم أم قد تضر بهم؟

العددان 221/220 - السعر: 1.500 دينار كويتي

المقالات

ترجمة أو مراجعة

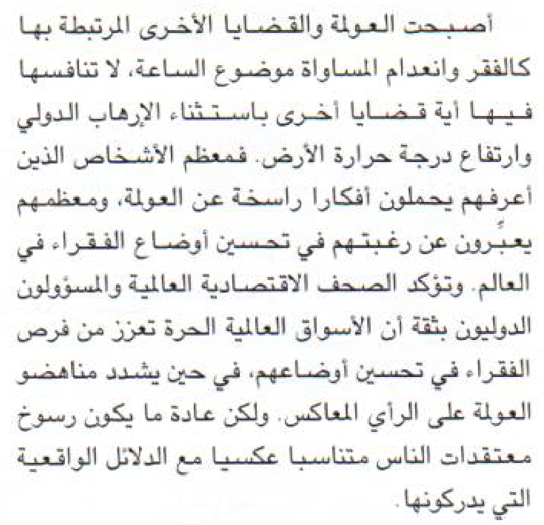
«مجلة العلوم» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «مؤسسة الكويت للتقدم العلمي» وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت. وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«ساينتفيك أمريكان» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «ساينتفيك أمريكان» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول

Majallat AlOloom
المجلد 22 ـ العددان 9/8
أغسطس/سبتمبر 2006

هل العولمة تساعد فقراء العالم أم قد تضرُّ بِهم؟(*)

الجواب هو الاثنان معا. والسؤال الحقيقي هو كيف يمكن جعل الفوائد في حدها الأقصى والأضرار في حدها الأدنى.

<P. باردان>



أصبحت العولمة والقضايا الأخرى المرتبطة بها كالفقر وانعدام المساواة موضوع الساعة، لا تنافسها فيها أية قضايا أخرى باستثناء الإرهاب الدولي وارتفاع درجة حرارة الأرض. فمعظم الأشخاص الذين أعرفهم يحملون أفكارا راسخة عن العولمة، ومعظمهم يعبِّرون عن رغبتهم في تحسين أوضاع الفقراء في العالم. وتؤكد الصحف الاقتصادية العالمية والمسؤولون الدوليون بثقة أن الأسواق العالمية الحرة تعزز من فرص الفقراء في تحسين أوضاعهم، في حين يشدد مناهضو العولمة على الرأي المعاكس. ولكن عادة ما يكون رسوخ معتقدات الناس متناسبا عكسيا مع الدلائل الواقعية التي يدركونها.

وكما هو شائع في المناقشات العامة المثيرة للجدل، تفسر العولمة بمعان مختلفة، فالمؤيدون يفسرونها على أنها تقانة الاتصالات وانتقال رأس المال، أو التعاقد مع الشركات المحلية في الدول الغنية؛ أما مناهضوها فيعتبرونها مرادفة للرأسمالية أو للهيمنة الثقافية والاقتصادية الأمريكية. لذلك من الأفضل أن أوضح في بداية هذه المقالة أنني سأشير بشكل رئيسي إلى العولمة الاقتصادية؛ أي إلى توسع الاستثمارات والتجارة الدولية. ولكن السؤال هنا والذي يعتبر هذا من أهم الأسئلة في العلوم الاجتماعية اليوم هو كيف تؤثر هذه العملية في الأجور والدخول وحصول الفقراء على الموارد؟

بعد ربع قرن من انتهاء الحرب العالمية الثانية، قامت معظم الدول النامية في أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية بحماية اقتصادها وعزله عن الاقتصاد العالمي، ومع ذلك، قامت معظم هذه الدول بفتح أسواقها منذ ذلك الحين. فعلى سبيل المثال، توسعت تجارة الخدمات والبضائع من الناتج الإجمالي الوطني (GPD) بين عامي 1980 و 2000: في الصين من 23% إلى 46%، وفي الهند من 19% إلى 30%. وقد سببت هذه التغيرات

(*) DOES GLOBALIZATION HELP OR HURT THE WORLD'S POOR?

العديد من المصاعب للفقراء في الدول النامية، ولكنها في الوقت نفسه طرحت العديد من الفرص التي استفادت منها بعض الدول ولم تستفد منها دول أخرى، وذلك من خلال الاعتماد بشكل كبير على مؤسساتهم الاقتصادية والسياسية الوطنية (ويطبق هذا أيضا على العاملين ذوي الأجور المنخفضة في الولايات المتحدة الأمريكية، مع أن تأثيرات العولمة في الدول الغنية تتجاوز نطاق هذه المقالة). وتعتبر المحصلة الصافية في معظم الأحوال عملية معقدة وسياقية[1]، تناقض التصريحات السطحية التي تؤيد أو تعارض العولمة. ومن هنا يعتبر إدراك مثل هذه التعقيدات أساسيا لاتخاذ الإجراءات الفعالة في هذا المضمار.

حقول الرز، مقاطعة جيانكزي، الصين، أوائل التسعينات.

ليست بلاء ولا دواء[*]

ترتكز حالة التجارة الحرة على المبدأ القديم المبني على المزايا التفضيلية، حيث يبنى هذا المفهوم على أن الدول تكون بوضع أفضل عندما تقوم بتصدير السلع التي تتفوق بإنتاجها، وتستورد احتياجاتها الأخرى. وتؤيد جميع المناهج الاقتصادية السائدة هذا المبدأ، ولكن فيها مع ذلك اختلافات كبيرة في الآراء حول التوازن بين المنافع المحتملة والتكاليف الفعلية من التجارة وحول أهمية الحماية الاجتماعية للفقراء. وفي حين يعتقد مؤيدو التجارة الحرة أن تزايد موجة الاستثمار والتخصص العالمي يفيد الجميع، يشير آخرون إلى أن العديد من الفقراء لا يملكون القدرات على التكيف مع ظروف الأسواق المتغيرة. ويناقش هؤلاء الاقتصاديون أن منافع التخصص تتحقق على المدى الطويل، الذي من المفترض خلاله أن يكون الأشخاص والموارد قابلين للتأقلم بشكل كامل.

يعتبر النقاش الدائر بين الاقتصاديين نموذجا للتحضر مقارنة بما يدور في الشوارع، حيث يدعي مناهضو العولمة أنها تصب في صالح الأغنياء على حساب الفقراء، أما مؤيدوها فيؤكدون أنها تصب في مصلحة الفقراء أيضا، ولكن إذا ما نظرنا إلى الوقائع، بدت القضية أكثر تعقيدا. فالبنك الدولي يقدر، بالاعتماد على بيانات المسح الأسري التي جمعت من قبل منظمات مختلفة، أن نسبة ضئيلة من السكان في الدول النامية تعيش تحت خط الفقر المحدد بدولار واحد في اليوم (وفقا لأسعار عام 1993)؛ ووفقا لنفس المعيار، فإن الفقر المدقع يتضاءل بالمجمل.

ويظهر هذا الاتجاه على وجه الخصوص واضحا في جنوب شرق آسيا، فقد تضاءلت معدلات الفقر بشكل كبير في الصين والهند وأندونيسيا - وهي الدول التي تميزت اقتصاداتها لفترة طويلة بالفقر الريفي المدقع،

يمكن إرجاع التناقص الكبير في معدلات الفقر المدقع في الصين إلى قانون الإصلاح الزراعي لعام 1978 وغيره من العوامل الداخلية، وليس نتيجة للخطوات الكبيرة التي تم اتخاذها في مجال التجارة الخارجية أو الاستثمارات.

نظرة إجمالية: العولمة والفقر[**]

- **يعتبر توسع التجارة الدولية والاستثمارات من أهم الاتجاهات السائدة في الوقت الحاضر، ولكن يميل صانعو السياسات إلى مناقشتها من دون مراجعة دقيقة للدلائل المتوافرة في العلوم الاجتماعية.**
- **نظرا لأن الحقبة الحالية للعولمة تزامنت مع الانخفاض المستمر في نسبة الأشخاص الذين يعيشون في فقر مدقع، يمكن الاستنتاج أن العولمة بمجملها لا تجعل الفقراء أكثر فقرا. وعلى السواء، ليس لها نصيب كبير في تخفيض معدلات الفقر، الذي تمّ في حالات عديدة قبل تحرير التجارة.**
- **إن الدول التي تعزز الحقوق الاقتصادية الأساسية - تحسين البنية التحتية، ضمان الاستقرار السياسي، تنفيذ الإصلاح الزراعي، توفير شبكات الأمان الاجتماعي، التصدي لعوائق السوق مثل عدم القدرة على الحصول على قروض - تكون أكثر نجاحا في تخفيض معدلات الفقر. ومع أنه يمكن للعولمة أن تساعد في هذا المضمار، فإنها لن تكون سوى عامل من بين العديد من العوامل.**

(*) Neither Plague nor Panacea

(**) Overview/ Globalization and Poverty

(1) context-dependent أو تعتمد على السياق.



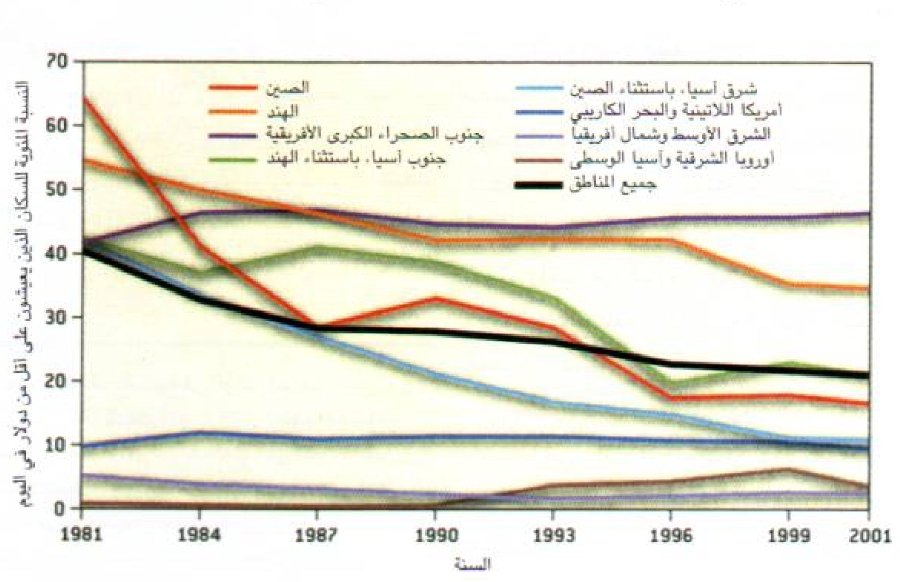
البُند، شانغهاي، 1999.

وتشكل بمجموعها حوالي نصف مجموع سكان الدول النامية ـ فبين عامي 1981 و2001، تناقصت نسبة الريفيين الذين يعيشون على أقل من دولار واحد في اليوم من 79% إلى 27% في الصين، ومن 63% إلى 42% في الهند، ومن 55% إلى 11% في أندونيسيا.

لكن مع أن الفقراء بمجملهم لا يزدادون فقرا، لم يستطع أحد أن يبرهن بشكل مقنع على أن التحسن في أوضاعهم يعزى إلى العولمة بصورة رئيسية. ففي الصين على سبيل المثال، يمكن إرجاع تناقص معدلات الفقر إلى عوامل داخلية، مثل توسع البنية التحتية وقانون الإصلاح الزراعي لعام 1978 (والذي تم من خلاله تفكيك الكوميونات العائدة لحقبة ماو)، والتغيرات في أسعار شراء الحبوب، إضافة إلى تخفيف القيود المفروضة على الهجرة من الريف إلى المدينة. وفي الواقع، فقد حدث تناقص كبير في معدلات الفقر في أواسط الثمانينات، وذلك قبل الخطوات الكبيرة التي تم اتخاذها في مجال التجارة الخارجية أو الاستثمار. فثلاثة أرباع ما ينوف على الـ400 مليون صيني الذين تم انتشالهم فوق خط الفقر العالمي بين عامي 1981 و 2001، جرى انتشالها بحلول عام 1987.

وبالمثل، يمكن إرجاع انخفاض معدل الفقر الريفي في الهند إلى انتشار الثورة الزراعية، والبرامج الحكومية للتصدي للفقر والحركات الاجتماعية، وليس إلى إجراءات تحرير التجارة في التسعينات من القرن الماضي. ففي أندونيسيا، أدت الثورة الزراعية والسياسات الاقتصادية الكبرى واستقرار أسعار الأرز والاستثمارات الهائلة في البنية الزراعية التحتية، دورا كبيرا في تخفيض معدلات الفقر في الأرياف. وبالطبع، أسهمت العولمة من خلال توسيع فرص العمل في مجال التصنيع المعتمد على الأيدي العاملة الكثيفة، في انتشال العديد من الصينيين والأندونسيين من دوامة الفقر منذ أواسط الثمانينات (وهذا لا ينطبق بعد على الهند لأسباب مؤسساتية وسياسيّة داخلية عديدة). لكن ثمة سبب واحد من بين العديد من الأسباب التي تفسر التقدم الاقتصادي في السنوات الخمس والعشرين الماضية.

إن المشككين في فوائد العولمة يشيرون إلى أن نسبة الفقر بقيت لفترة طويلة مرتفعة في جنوب الصحراء الكبرى الأفريقية، فبين عامي 1981 و 2001، ازدادت نسبة الأفارقة الذين يعيشون تحت خط الفقر من 42% إلى 47%، ولكن يبدو أن هذا التزايد في نسبة الفقراء يمكن إرجاعه إلى عدم استقرار الأنظمة السياسية أو فشلها أكثر من كونه نتيجة للعولمة. كما أن تخوف المستثمرين والتجار من عدم الاستقرار هذا قد أضعف من تأثيرات العولمة. ثم إن السياسات غير المستقرة قد أسهمت في تضخيم العوامل الطويلة الأمد، مثل العزلة الجغرافية وانتشار الأمراض والاعتماد المفرط على مجموعة محدودة من السلع التصديرية والانتشار البطيء للثورة الزراعية [انظر: «*هل يمكن القضاء على الفقر المدقع؟*»، **العلوم**، العدد 5 (2006)، ص 16].



لقد أصبح الفقر المدقع أقل انتشارا على مر العقدين الماضيين، ومن ضمنها الحقبة التي سادت فيها العولمة. لذلك، من الخطأ الادعاء، كما يفعل الكثيرون، أن العولمة تجعل الفقراء أكثر فقرا. فالدول التي تأثرت بالركود الاقتصادي، وبشكل خاص في أفريقيا، كانت معزولة عن الاقتصاد العالمي. لذا فإن مصائب هذه الدول تُردُّ إلى أسباب أخرى.

مصانع يكدح فيها العمال بأجور زهيدة(*)

إن المنافسة في الأسواق الدولية تُجزي الأشخاص ذوي المبادرات والمهارات والمعلومات. ويعوق الفقراء في كل مكان عدم حصولهم على التمويل اللازم لمشروعاتهم والاستفادة من الفرص المتاحة لتعلمهم مهارات جديدة. كما أن العمال في بعض الدول النامية ـ وعلى سبيل المثال لا الحصر، المكسيك ـ أخذوا يخسرون وظائفهم في الصناعات التي تعتمد على الأيدي العاملة الكثيفة لصالح نظرائهم في آسيا. وفي الوقت نفسه، أسهمت الاستثمارات الأجنبية في طرح فرص عمل جديدة. وعموما، تبدو تأثيرات العولمة هي تحسن صاف. ففي المكسيك، تتضاءل نسبة الفقر في المناطق التي انخرطت أكثر من غيرها في الاقتصاد العالمي، مع أن الفنيين والمهرة يهاجرون إلى تلك المناطق، مما يحسِّن دخولهم بصورة مستقلة عما تحققه العولمة. فلقد أظهرت دراسة أجراها <G. هانسون> [من جامعة كاليفورنيا ـ سان دييگو]، أخذت بعين الاعتبار فقط الأشخاص الذين ولدوا في منطقة معينة (لذا لم يُدخَل المهاجرون في عداد هؤلاء) أن متوسط الدخل خلال التسعينات في الولايات المكسيكية الأكثر تأثرا بالعولمة، ازداد بنسبة 10% أكثر من زيادته في تلك الولايات الأقل تأثرا.

وفي اقتصادات آسيا الفقيرة ـ على سبيل المثال، بنغلادش وفيتنام وكمبوديا ـ يعمل عدد كبير من النساء في معامل تصدير الألبسة، حيث تعتبر دخولهن حسب المعايير العالمية قليلة ولكنها أكثر من تلك الدخول التي سيحصلن عليها من العمل في مهن أخرى. لذلك يجب على المدافعين عن حقوق العمال الذين يساورهم القلق على أحوالهم أن يقدروا التحسن النسبي في ظروف وأحوال النساء. فقد استشهد تقرير لأوكسفام (وهو اتحاد دولي لمنظمات غير حكومية يعمل على محاربة الفقر في العالم) بسيدة تبلغ من العمر 23 عاما وتعمل في صناعة الملابس بقولها:

«هذا العمل مرهق ولا تتم معاملتنا بإنصاف. فالمديرون لايحترموننا كنساء، ولكن الحياة أصعب بالنسبة إلى أولئك الذين يعملون خارج المصنع. ففي قريتي، سأحصل على دخل أقل، ويحصل أولئك الذين يبيعون في الشوارع أو الذين يحملون الآجر إلى مواقع البناء على أجر أقل. هنالك خيارات قليلة أخرى. وبالطبع أود أن تتاح لي ظروف أفضل. ولكن هذا العمل يضمن لي إطعام أولادي وتحسُّن ظروف حياتهم.»



لاجئون من بورما في معمل صناعة ألبسة، ماي سوت، تايلاند، التسعينات.

وفي عام 2001، قامت كل من <نايلة كبير> [من جامعة ساسِكس في بريطانيا] و<سيمين محمود> [من معهد بنغلادش للدراسات التنموية] بإجراء مسح شمل 1322 امرأة عاملة في داكا، حيث وجدتا أن متوسط الدخل الشهري للعاملات في صناعة الملابس كان أعلى بنسبة 86% من متوسط دخل العاملات الأخريات اللاتي يعشن في أحياء الصفيح نفسها.

ويمكن إعطاء دليل آخر على مثل هذا التحسن النسبي في أوضاع العاملين عندما تتلاشى مثل هذه الفرص. ففي عام 1993، واستباقا للحظر الأمريكي على الواردات التي يتم تصنيعها من قبل عمال أطفال، تم طرد نحو 50 ألف طفل يعملون في صناعة الملابس في بنغلادش، وقد قامت كل من اليونيسيف وجماعات المساعدة المحلية بالتحقيق في نتائج هذا الإجراء، فوجدوا أن 10 آلاف طفل من هؤلاء عادوا إلى مقاعد الدراسة، ولكن البقية أخذت تعمل في مهن أدنى، من ضمنها مكاسر الحجارة والدعارة. ولكن هذا لا يبرر ظروف العمل المروعة في المصانع، حتى وإن تجاهلنا حالات العمل القسري أو ظروف العمل غير الآمنة، ولكن يجب على مؤيدي العولمة إدراك فرص العمل المتاحة للفقراء، والنتائج المحتملة غير المقصودة لسياسات «**التجارة المنصفة**»(1) fair trade.

الجذور المحلية للفقر(**)

لا يجلب الاندماج في الاقتصاد العالمي المكاسب فقط وإنما أيضا العديد من المشكلات. فحتى لو كانت فرص العمل الجديدة التي يجلبها هذا الاندماج أفضل من القديمة، فإن التحول يمكن أن يكون موجعا. فمعظم الدول الفقيرة توفر حماية اجتماعية ضعيفة الفعالية لمساعدة الفقراء الذين فقدوا وظائفهم ولم يستطيعوا إيجاد البديل. أضف إلى ذلك، فإن أعدادا كبيرة من الفقراء تعمل في مزارعها الصغيرة أو مشاريعها العائلية حيث معظم المشكلات التي تواجهها محلية، مثل، عدم قدرتهم على الحصول على قروض، وضعف البنية التحتية وفساد المسؤولين الحكوميين، وعدم أمان حقوق

(*) Sweatshops

(**) The Local Roots of Poverty

(1) التجارة التي تقوم على بيع السلع بسعر معين في كل مكان أو بسعر أعلى منه. (التحرير)



بيت دعارة في جوار محطة ماهيم للقطارات، مومبي، الهند 2002.

حيازة الأراضي الزراعية. وتسهم الأنظمة السياسية الضعيفة وسوء توزع الثروات وعدم كفاءة أو فساد السياسيين والمسؤولين الحكوميين في إعاقة استفادة الفقراء من الفرص المتاحة. لذلك فإن فتح الأسواق من دون تخفيف تلك القيود الداخلية يجعل وضع الفقراء أكثر سوءا.

وعلى العكس من ذلك، فإن فتح الاقتصاد أمام التجارة وتدفق رؤوس الأموال على المدى الطويل لا يفاقم من الوضع السيئ للفقراء إذا تم سن القوانين والسياسة (وخصوصا بسبب تركز الثروات والسلطات بأيدي حفنة قليلة)، لذلك بقيت الفلبين دولة نامية، في حين أصبحت كوريا الجنوبية في مصاف الدول المتطورة. لقد كانت بوتسوانا وأنغولا من الدول المصدرة للألماس، ولكن تعتبر بوتسوانا حاليا من الدول الديمقراطية السريعة النمو، في حين دمرت الحرب الأهلية أنغولا.

وتبرهن خبرات الدول على أنه ليس ثمة ما يدعو لأن تعمل قوى العولمة على إعاقة برامج محاربة الفقر، حيث لا توجد أية قواعد وتعزيز أطر المحاسبة الإدارية والسياسية؛ ولكن العوائق هي داخلية إلى حد بعيد. وعلى العكس، لا يؤدي الانغلاق الاقتصادي أمام التجارة العالمية إلى تقليل الفوائد المكتسبة للمالكين والسياسيين والأغنياء الذين يتمتعون بالدعم الحكومي. وعليه، لا تعد العولمة السبب الرئيس لمشكلات الدول النامية، خلافا لما يدعيه العديد من مناهضي العولمة ـ تماما كما لا تعتبر العولمة الحل الوحيد لتلك المشكلات، خلافا لزعم العديد من مؤيديها.

ولكن ماذا عن البيئة؟ يناقش العديد من المدافعين عن البيئة أن الاندماج في الاقتصاد العالمي يشجع على الاستغلال المفرط للموارد الطبيعية الشحيحة مثل الغابات ومصايد الأسماك وتدمير موارد أرزاق الفقراء. فتهمة شائعة توجه إلى الشركات التي تتجاوز حدود بلدانها[1]، هي أنها تتسابق للاستثمار في الدول الفقيرة متجاهلة معايير حماية البيئة، وتكثر الروايات في هذا المضمار، لكن تمّ حولها إجراء عدد قليل من الدراسات الإحصائية. فقد اعتبرت إحدى هذه الدراسات

وفقا للمعايير العالمية، تعتبر أجور وظروف العمل في صناعة الملابس سيئة ولكنها أفضل من العمل في مهن أخرى كالخدمة في المنازل والدعارة.

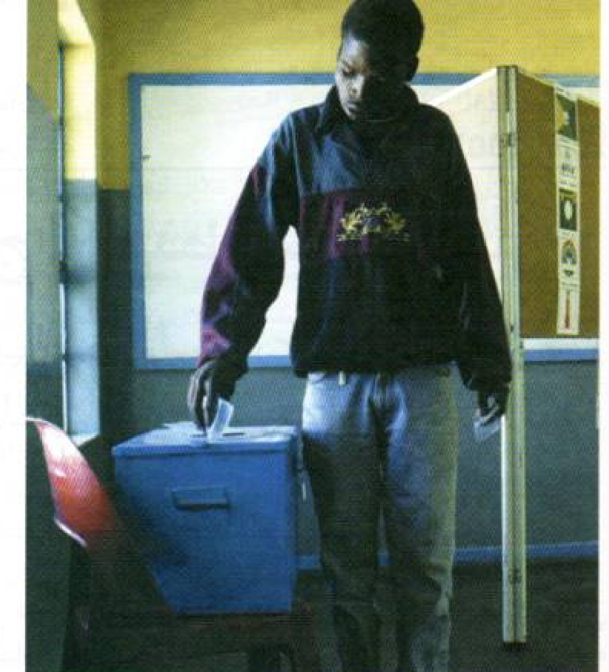
والتشريعات ووضع السياسات المناسبة، وخصوصا في إنتاج بضائع أكثر قابلية للتسويق وفي طرح فرص عمل جديدة.

ولقد برهنت الدراسات والأبحاث على صحة ذلك. فمع أن دخل الفرد في كل من اقتصادات موريتشوس وجامايكا كان متقاربا في أوائل الثمانينات، فقد تفاوت أداؤهما الاقتصادي تفاوتا كبيرا منذ ذلك الوقت، حيث تمتعت جامايكا بمؤسسات ديمقراطية وسيادة القانون، في حين غرقت موريتشوس في الجريمة والعنف. ومع أن دخل الفرد في كوريا الجنوبية والفلبين كان متقاربا في أوائل الستينات، لكن الفلبين تراجعت من حيث المؤسسات الاقتصادية يجب على الدول من خلالها التخلي عن برامج الحماية الاجتماعية لتدعم اقتصادها؛ ففي الواقع، يمكن أن تكون الأهداف الاقتصادية والاجتماعية داعمة بشكل متبادل. فالإصلاح الزراعي، وتوفير فرص الحصول على القروض والخدمات لصغار المنتجين، وإعادة التأهيل والتدريب، ودعم دخل العمال المهجّرين، وبرامج الأشغال العامة للعاطلين عن العمل، وتوفير التعليم الأساسي والخدمات الصحية يمكن أن تعزز إنتاجية العمال والمزارعين، ومن ثمّ تسهم في تعزيز القدرة التنافسية للدول على مستوى العالم. ويمكن أن تتطلب مثل هذه البرامج إعادة النظر بأولويات ميزانيات تلك الدول التي أعدتها عام 2003 <G. إيسكلاند> [من البنك الدولي] و<A. هاريسون> [من جامعة كاليفورنيا في بيركلي] في كل من المكسيك والمغرب وفنزويلا وساحل العاج، أن العامل الأكثر أهمية لاستثمار تلك الشركات في هذه الدول هو حجم أسواقها المحلية وليس التملص من تكاليف حماية البيئة المفروضة في الدول الغنية. ومن الملاحظ أنه في أية صناعة، تكون المصانع الأجنبية أقل تلويثا للبيئة من المصانع المحلية.

وعلى شاكلة الفقر المستمر، فإن المعايير غير الفعالة للحفاظ على البيئة هي في نهاية المطاف سياسة وطنية أو فشل مؤسساتي.

(1) transnational

لا تشرح العولمة الأقدار المختلفة لكل من بوتسوانا وأنغولا، وهما من الدول المصدرة للألماس، الأولى ديمقراطية والثانية دمّرتها الحرب الأهلية.



مركز اقتراع، كابورون، بوتسوانا، 2004.

فغياب القوانين والتشريعات التي تحدد حقوق الملكية أو الموارد المشتركة يؤدي عادة إلى الإفراط في استغلال الموارد الطبيعية. فقد أدت الاستجابة لضغوط السياسيين المتنفذين إلى إجبار الحكومات على خفض أسعار الموارد الطبيعية الثمينة، مثل مياه الري في الهند والطاقة في روسيا، ومنح امتيازات الخشب في أندونيسيا والفلبين. وليس غريبا أن تكون النتيجة استنزاف الموارد. ومن المتوقع أن يؤدي فتح أسواق دولة من الدول من دون معالجة هذه الاختلالات والتحريفات، إلى تفاقم المشكلات البيئية.

عندما يتيح النقاش المجالَ للعمل(*)

لحسن الحظ، فإن كلا من مؤيدي ومناهضي العولمة يطورون - ببطء إلى حد ما - نوعا من الاتفاق. ففي مجالات عديدة، يرى الطرفان أن ثمة إمكانية للتنسيق فيما بين الشركات التي تتجاوز حدود بلدانها، والمنظمات المتعددة التمويل وحكومات الدول النامية وجماعات العون المحلية وذلك في برامج تقديم المساعدات للفقراء. فتجاوز نقاط الخلاف والبناء على النواحي التي يتم الإجماع عليها والتعاون فيها يمكن أن تجعل الشراكات الدولية قادرة على التخفيف من وطأة الفقر الذي يستمر في ترك بصماته على حياة الملايين من الفقراء في العالم. ونورد هنا بعض الإجراءات التي ما تزال في طور النقاش.

التحكم في رأس المال. يتألف الاستثمار العالمي المتدفق من رأس المال الطويل الأمد (كالمعدات) ورأس المال القصير الأمد (كالأسهم والسندات والعملات) الذي يمكن عند سحبه فجأة أن يسبب أضرارا كبيرة للاقتصادات الهشة. ويمكن الاستشهاد على ذلك بالأزمة المالية التي ضربت آسيا في عام 1997، حيث ارتفع معدل الفقر في الريف التايلاندي إلى نحو 50% في أقل من سنة نتيجة ممارسات المضاربين في العملة التايلاندية (البات)، وأدى السحب الجماعي لرأس المال القصير الأمد في أندونيسيا إلى انخفاض حقيقي في الأجور في قطاع الصناعة إلى نحو 44%. وحاليا، يرى العديد من الاقتصاديين (ومن ضمنهم أولئك الذين يؤيدون التجارة الحرة) ضرورة وجود نوع من الضوابط على تدفق رأس المال القصير الأمد، وخصوصا إذا ما كانت المؤسسات المالية الوطنية والمعايير المصرفية ضعيفة. ويعتقد الكثيرون أن كلا من الصين والهند وماليزيا استطاعت تفادي عبء الأزمة المالية التي ضربت آسيا بفضل وجود ضوابط صارمة على هروب رأس المال. ولكن مازال الاقتصاديون يختلفون حول أشكال تلك الضوابط ومدى تأثيرها في تكلفة رأس المال.

تخفيض الحماية على الإنتاج الوطني. تتجلى أهم العوائق التي يواجهها العديد من الدول الفقيرة في عدم اندماجها في الاقتصاد العالمي وليس نتيجة اندماجها فيه. فمن الصعب على الفقراء في العالم الخروج من دوامة الفقر عندما تقيد الدول الغنية (وكذلك الدول الفقيرة نفسها) الواردات وتدعم مزارعيها ومصنعيها. وتقدّر خسائر الدول النامية من الرسوم الزراعية والدعم الحكومي في الدول الغنية بنحو 45 بليون دولار، وخسارتهم السنوية من القيود التجارية على النسيج والملبوسات بنحو 24 بليون دولار. وتتجاوز حصيلة هذه الخسائر مساعدات الدول الغنية للدول الفقيرة؛ علما بأن هذه المساعدات لا يجري توزيعها بشكل عادل بين الدول الفقيرة، حيث يستفيد بعض هذه الدول أكثر من غيره إذا ما تم رفع هذه القيود ووقف الدعم الحكومي.

كسر الاحتكارات. غالبا ما يفتقر صغار المصدرين في الدول الفقيرة إلى شبكات التصدير والعلامات التجارية التي تفتح لهم الطريق إلى أسواق الدول الغنية، ومع أن شركات البيع بالمفرق العالمية يمكن أن تؤدي دورا في مساعدة هؤلاء المصدرين، ولكن عادة ما تكون هوامش الأرباح والرسوم المفروضة مرتفعة جدا. ومن الصعب التحقق من الممارسات التجارية المقيدة من قبل الوسطاء الدوليين، ولكن هناك العديد من الدلائل التفصيلية التي تدل عليها. فعلى سبيل المثال، تسيطر على سوق القهوة العالمية أربع شركات، وفي أوائل التسعينات كانت أرباح القهوة للدول المصدرة نحو 12 بليون دولار أمريكي، ومبيعات المفرق نحو 30 بليون دولار أمريكي. وبحلول عام 2002، تضاعفت مبيعات المفرق، ولكن ما حققته

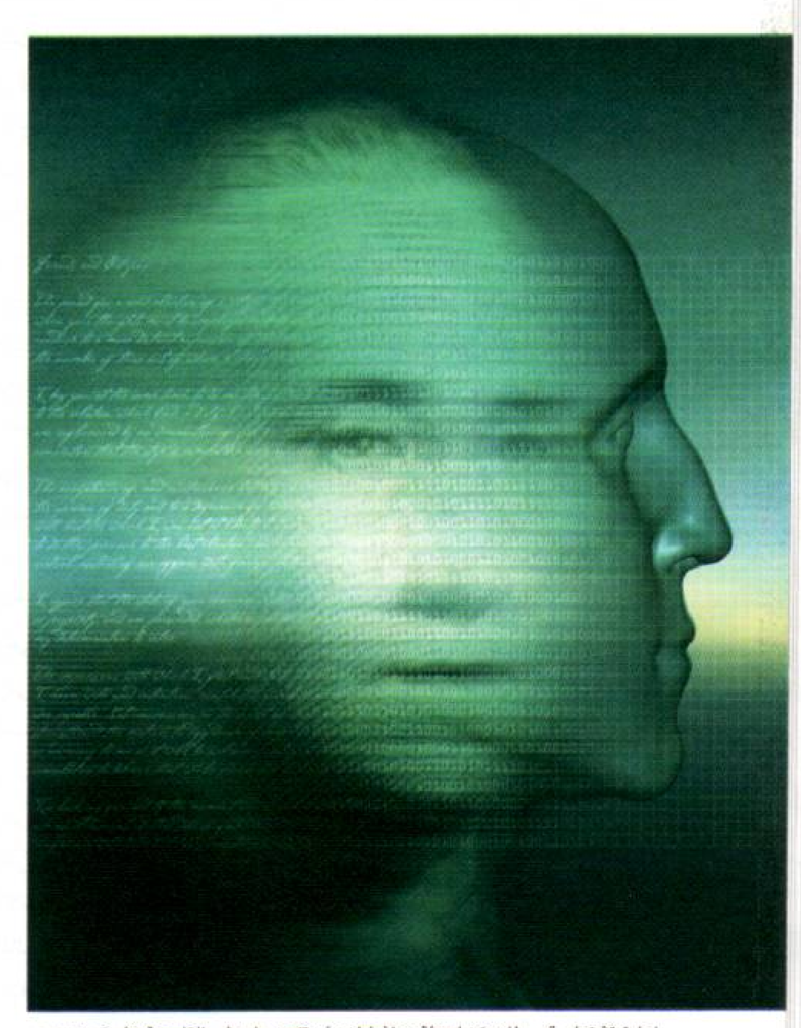
(*) When Talk Giives Way to Action

التتمة في الصفحة 37

تشكيل صورة لوجه جورج واشنطن في شبابه[*]

خبير في علم الأصول البشرية يُركِّب صورة لـ<جورج واشنطن>[1] عندما كان شابا، وبذا يحل لغز سرٍ مدهشٍ قديم.

<J. شوارتس>



إعادة تشكيل رقمي لما يمكن لهيئة <واشنطن> أن تكون عليه في التاسعة عشرة من عمره.

من بين الذكريات القليلة المتبقية في مخيلتي من المدرسة الابتدائية عن <جورج واشنطن>[1] أنه قطع في طفولته شجرة كرز ونسب تلك الفعلة الشنعاء إلى والده؛ وأنه عندما كبر، كانت لديه أسنان من خشب. لكنْ أخيرا، ازدادت معلوماتي عن <واشنطن> قليلا، وقد تبين لي أنه لم يقطع شجرة كرز قط، وأنه لم تكن لديه أسنان من خشب؛ إلا أن هذين الأمرين كانا أقل ما فاجأني.

فقد تلقيت دعوة غير متوقعة لإعادة تركيب صورته وهو في شبابه، وقبل ظهور صوره الشهيرة وتمثاله، وقد دفعتني هذه الدعوة إلى الانطلاق في رحلة بحث كشفت لي عن شخصِ <واشنطن> المختلف تماما عن <واشنطن>، رجلِ الدولة الخشن الجانب ذي الشفاه الرقيقة الذي رُسمت صورته على ورقة الدولار. لقد بدأت غزواتي للتاريخ الأمريكي عندما طلب إلي <J.C. ريس> [المدير التنفيذي لماونت ڤرنون، وهي مجموعة عقارات واشنطن] أن أعيد رسم صورة <واشنطن>، المولود في عام 1732 والمتوفى في عام 1799، وهيئته التي كان يبدو عليها خلال ثلاث مراحل مهمة من حياته. لقد أراد <ريس> هذه الصور بالحجم الطبيعي لوضعها في مركز ماونت ڤرنون التعليمي الذي سيُفتتح في هذا العام.

سيصوَّر <واشنطن> ذو التسعة عشر ربيعا في عام 1751 حينما ابتدأ حياته العملية مغامرا ومسَّاحا، وسيصوَّر أيضا كما كان في الخامسة والأربعين من عمره حينما عسكر مع جنوده في العراء خلال الشتاء القارس في وادي فورج Valley Forge بانتظار الفرصة السانحة للانقضاض على البريطانيين الذين كانوا قد احتلوا مدينة فيلادلفيا. وسوف تُضم هاتان الصورتان إلى صورة ثالثة لـ<جورج واشنطن>، ذي السبعة والخمسين عاما وهو يؤدي القسم في 1789/4/30، بوصفه أولَ رئيس، وهو دور اختاره عوضا عن الدور الآخر الذي عُرض عليه، وهو أن يصبح ملكا.

وبصفتي متخصصا في علم الأصول البشرية، فقد درست سابقا عظاما قديمة لإنسان بدائي، وركبت عينات لأسلافنا. وقد عزَّز تجربتَي هذه عملي في مكتب التحقيقات في الوفيات المشتبه فيها في پنْسلڤانيا. لكن لا يوجد لدي حاليا ما يتيح لي مواجهة التحديات الفضولية المتعلقة باكتشاف الصورة الحقيقية لهيئة <G. واشنطن>، فأول ما علمته هو أنه لن يُسمح لي بدراسة هيكله العظمي الذي سيبقى مدفونا. من دون عظام؟ كيف لي أن أتصور نفسي أبدأ بتشكيل جديد لهيئة الجسد من دون توافر عظام؟ لكن التحدي كان أشد إغراء من أن يقاوَم.

(*) PUTTING A FACE ON THE FIRST PRESIDENT

(1) الرئيس الأول للولايات المتحدة الأمريكية.

مفاتيح الحل[*]

كان بين المواد التي حصلت عليها تمثالٌ لـ‹واشنطن› بالحجم الطبيعي من الرخام الأبيض وتمثال نصفي وقناع حقيقي لوجهه، وجميعها من أعمال نحات البلاط الفرنسي ‹جان-أنطوان هودون› الذي شرع في تجسيداته لـ‹واشنطن› خلال زيارة قام بها لماونت ڤرنون في عام 1785 عندما كان عمر ‹واشنطن› ثلاثة وخمسين عاما. وقد أغنت حفنة من اللوحات التي رُسمت لـ‹واشنطن› في منتصف حياته وأواخرها المعلومات المتوافرة عنه، وبخاصة اللوحات التي رسمها ‹J. ستيوارت›، و‹Ch. W. پيل› وابنه ‹R. پيل› و ‹J. ترمبُل›. وأسهمت أيضا عدة مجموعات من أسنان صنعية وملابس مبعثرة، تعود أيضا إلى آخر جزء من حياته، في توفير أدلة أخرى قيِّمة.

ما كنت أحتاج إليه هو طريقةٌ ما لضم هذه المفاتيح معا ومعالجتها. فعلى سبيل المثال، إذا استطعتُ إجراء مسح حاسوبي ثلاثي الأبعاد لقناع الوجه والتمثال النصفي، اللذين نحتهما ‹هودون›، لاستطعت مقارنة دقة تفاصيلهما. وإذا استطعتُ مسح الأسنان الصنعية المتبقية مسحا ثلاثي الأبعاد، لاستطعت إدخالها في الرأس الرقمي لتحديد تقوسات الفكين. حينئذ يمكنني تخمين مقدار العظم الذي فقده ‹واشنطن› من فكيه قبل بلوغه الثالثة والخمسين من عمره، والتعويض عنه وأنا أشق طريقي باتجاه جعله يبدو أصغر تدريجيا (من المحتمل أن يكون شكل الفكين حينئذ قريبا جدا من شكلهما وهو في السابعة والخمسين).

وحالما أدركت أنني بحاجة إلى العمل في المجال الرقمي الثلاثي الأبعاد، اتجه تفكيري نحو الشركة بريزم[1]، وهي شركة لأبحاث النمذجة الفضائية في جامعة ولاية أريزونا. كنت قد زرت مختبر الشركة عندما ألقيت محاضرة في هذه الجامعة، وتذكرت رؤية نتائج التعاون الذي ضم جهود النحاتين وخبراء الأصول البشرية والمهندسين وعلماء الحاسوب. ومع أن المختبرات الأخرى لها أيضا خبرة في مجال التصوير الرقمي الثلاثي الأبعاد، فإن الشركة بريزم لديها سجل حافل في مجال العمل مع خبراء الأصول البشرية،

نظرة إجمالية/ تشكيل جديد لـ‹جورج واشنطن›[**]

- طُلب إلى الكاتب، وهو خبير في الأصول البشرية، أن يُجري أول تشكيل شرعي جديد لـ‹جورج واشنطن›. وهذا المشروع، بوصفه جزءا من مركز تعليمي جديد في ماونت ڤرنون، بناء تماثيل بالحجم الطبيعي للرئيس الأول عندما كان في التاسعة عشرة، والخامسة والأربعين، والسابعة والخمسين من عمره.
- لم يكن ممكنا استخدام بقايا الهيكل العظمي لـ ‹واشنطن› لتكوين فكرة عن مقاسات جسمه، إلا أن تمثالا ولوحات وقناعَ وجهٍ وأطقمَ أسنان صنعية وملابسَ تعود جميعها إلى السنوات الأخيرة من حياته، وفّرت المعلومات اللازمة.
- أتاح برنامج حاسوبي خاص ثلاثي الأبعاد للكاتب وزملائه جمع هذه المعلومات ومعالجتها للوصول إلى النماذج الثلاثة شبه الحية.

من دون عظام؟ كيف يمكنني أن أبدأ بتصوّر تشكيل جديد لجسد من دون توافر عظام؟

وهذا يعني أننا نتشارك معا في لغة علمية واحدة. وقدَّمت المشروع إلى مدير الشركة بريزم ‹A. رازدان›، الذي أبهجتني موافقته على مساعدتي على التصوير.

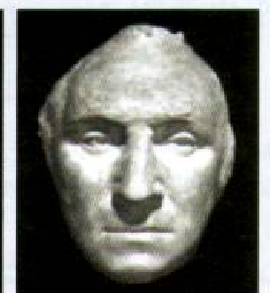
وقررت أن أبدأ بالصورة التي وضعها ‹هودون› لـ ‹واشنطن› عندما كان في الثالثة والخمسين. أما سبب اختياري ‹هودون› فهو شهرته بأسلوبه الذي يُعنى بأدق التفاصيل. فوفقا للروايات التي عاصَرته، استخدم **المسماك**[2] calipers لقياس الرئيس من رأسه حتى أخمص قدميه. لكن من سوء الطالع أن مَشْغَل ‹هودون› وجميع مدوَّناته قد دُمِّرت أثناء الثورة الفرنسية، ومع ذلك فإن العديد من الخبراء مقتنعون بدقة التمثالين النصفي والكامل، لأن ‹واشنطن› طلب إلى النحات ألاّ يتجاوز في عمله حجمه الطبيعي، خلافا لما كان معتادا حينذاك في صنع تماثيل المشاهير.

ولتحديد درجة الدقة، قام ‹رازدان› وزملاؤه بمسح التمثال النصفي وقناع الوجه. وبمقارنتهما رقميا، وجدوا أنهما متطابقان تقريبا. فالفرق بينهما لم يتجاوز 0.3 مليمتر، وهي قيمة مهملة إحصائيا. وهذا يثبت أن التمثالين، الكامل والنصفي، يمثلان وجه ‹واشنطن› تمثيلا دقيقا. إلا أن شيئا أثار قلقي هو التطابق المذهل بين قناع الوجه ووجه التمثال النصفي. تشير الوثائق في ماونت ڤرنون إلى أن ‹هودون› كان قد صنع التمثال النصفي قبل أيام من صنعه قناع الوجه، وهذا يوحي بأنهما يجب أن يختلفا بقدر أكبر، لأن من المفترض أن يكون التمثال النصفي قد صنع يدويا من دون استخدام أي أدوات. لكن العينين والأنف والذقن المائل اللامتناظر، وموضعي صيواني الأذنين الظاهرين، وتجاعيد الجبهة هي ذاتها في قناع الوجه وفي التمثال النصفي. أخيرا، وبعد أشهر من الحيرة، استنتجت أن ‹هودون› لم يصنع الوجه في التمثال النصفي يدويا من دون أدوات. فبعد أن أضاف العينين إلى قناع الوجه (لقد غُطِّيت عينا واشنطن حين صنع القالب لوجهه)، صنع قالبا للقناع وضغط فيه طينا مشويا للحصول على وجه التمثال النصفي. وكان عليَّ أن أُسلِّم بأن بقية الرأس قد ارتكزت على قياسات ‹هودون› بالمسماك.

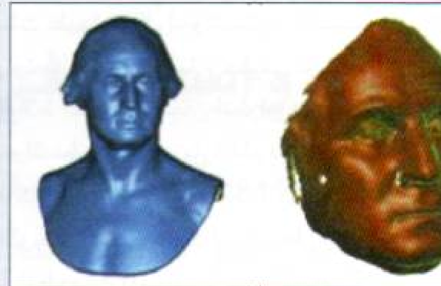
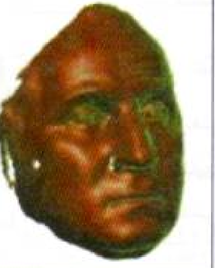
وبينما كنا نفرز المعلومات التي حصلنا عليها من المسح الرقمي، التقيت بـ ‹E .G. مايلز› [المشرفة على الرسم والنحت في معرض اللوحات الوطني السميثوني Smithsonian National Portrait Gallery]، حيث بدأتُ بجمع المعلومات عن دقة لوحات ‹واشنطن›

(*) The Clues
(**) Overview / Reconstructing GW
(1) Partnership for Research in Spatial modeling (PRISM)
(2) أداة لقياس البعد بين نقطتين، تتكوَّن من ذراعين طويلتين رفيعتين مرتبطتين معا في أحد طرفي كل منهما. (التحرير)

الخطوات الأولى في التشكيل الجديد(*)


قناع وجه حقيقي لـ <واشنطن> وهو في الثالثة والخمسين، صنعه <هودون>.


تمثال نصفي لـ <واشنطن> وهو في الثالثة والخمسين، صنعه <هودون>.



صورة رقمية لقناع الوجه.

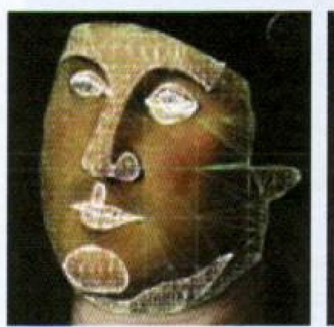

صورة رقمية للتمثال النصفي.

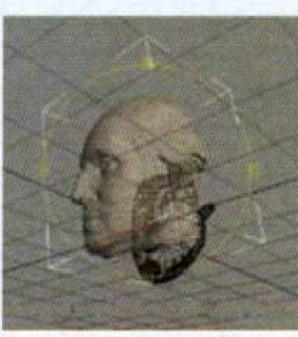
مقارنة

كان التمثال النصفي وقناع الوجه الحقيقي، اللذان صنعهما النحات <J .A. هودون> في عام 1785، عندما كان <واشنطن> في الثالثة والخمسين، نقطة بداية التشكيل الجديد. ولتحديد إمكان استخدام التمثال النصفي بثقة ليعبِّر عمَّا كان يبدو عليه <واشنطن>،

أجرى الكاتب وزملاؤه مسحا حاسوبيا ثلاثي الأبعاد لقناع الوجه والتمثال النصفي وقارنوهما رقميا. وكانت النتيجة فرقا بسيطا يساوي 0.3 مليمتر. يشير اللون الأصفر إلى مناطق التباين، أما مناطق العين والأنف والفم التي هي أكثر أهمية، فهي متطابقة تماما.

لوحة لـ<واشنطن> في الأربعين من عمره رسمها <W.C. بيل>.


صورة رقمية للوحة.


وضْعُ صورة اللوحة الرقمية فوق التمثال النصفي.


مقارنة اللوحة بالتمثال النصفي.

للمساعدة على استعادة هيئة <واشنطن> الشاب، مسحوا رقميا أقدم لوحة موجودة، وهي لوحة رسمها <W .C. بيل> في عام 1772، عندما كان القائد في الأربعين من عمره. وبيَّنت مقارنة هذه الصورة الرقمية بصورة التمثال النصفي الرقمية أن المسافة بين الأنف والذقن كانت أطول في اللوحة. وعلَّل الكاتب هذا كما يلي: صحيحٌ أن <واشنطن>

كان قد فقد معظم أسنانه في الثالثة والخمسين من عمره، لكنه في بداية الأربعينات من عمره، بقيت لديه أسنان أمامية على الأرجح، وهذا ما سبب الاختلاف في شكل وجهه. والاختلاف الذي لوحظ، أرشد الكاتب إلى نهج العودة إلى الوراء، انطلاقا من التمثال النصفي والقناع، إلى سنوات أبكر.

ومزاياها. لقد حذرتني <مايلز>، منذ البداية، أن على المرء أن يكون مرتابا، ليس فقط في اللوحات المنسوخة عن لوحات أصلية رسمها فنانون وقف <واشنطن> أمامهم كي يرسموه، بل باللوحات الأصلية ذاتها أيضا. خُذْ، على سبيل المثال، لوحة <ستيوارت> التي رسمها في أواخر تسعينيات القرن الثامن عشر، وهي واحدة من بضع لوحات رُسِمت لـ <واشنطن> بالحجم الكامل في ذلك القرن. يمكن التمييز أن الوجه فيها هو وجه <واشنطن>، ويبدو أن <ستيوارت> قد نقله من لوحته المعلقة حاليا في مكتبة Boston Athenaeum (مجمع بوسطن للآداب والعلوم)، وهي صورة مرآتية لتلك الموجودة على ورقة الدولار. أما اليدان على الأقل، فهما من نسج خيال <ستيوارت> على الأرجح، وأما الجسد فقد شُكِّل على مقاس نحو ثلاثة أشخاص مثَّلوا <واشنطن> أمامه.

وبالمقارنة، يمكن أن تمثِّل اللوحةُ، التي رسمها <ترمبُلّ> في عام 1792، جسمَ <واشنطن> من الرقبة إلى الأسفل بدقة أكبر مما تمثله من الرقبة إلى الأعلى. ثمة مثال رائع للتفسير الفني لهذا التباين تجلى حينما قارنت <مايلز> لوحتين رسمهما <بيل> وابنه <رامبرانت> ذو السبعة عشر عاما، في آن واحد في عام 1795، عندما جلس <واشنطن> أمامهما ليرسماه وهو في الستينات من عمره. لقد قام <بيل> الأب برسم شخص قصير بدين، يبدو رؤوفا، ذي وجنتين ورديتين؛ إنه رفيقه وصديق عمره. أما الابن فقد رسم رجلا مسنا هزيلا ملأت وجهه تجاعيد عميقة. وهكذا تكون لدينا أربع صور على الأقل شبيهة لـ <واشنطن> في الستينات من عمره، كلٌّ منها يختلف عن الأخريات اختلافا واضحا.

صحيحٌ أن الصور كانت مربكة، بيد أن أطقم الأسنان الصنعية كانت أشد إرباكا. طبعا، سرعان ما عرفت أن <واشنطن> لم يستخدم أسنانا صنعية خشبية قط، خلافا للأسطورة القائلة بذلك. ففي القرن الثامن عشر، كان العاج أكثر مادة استعمالا في صنع الأطقم الصنعية التي تُثبَّت فيها أسنان (إنسان أو حيوان)، وكان غالبا ما يؤخذ من أنياب فرس النهر. ومع الوقت، كانت تحدث

(*) First Steps in the Reconstruction

إن مجموعة الأسنان الكاملة الوحيدة التي وجدتها كانت طقم أسنان، بدا غامضا أولَ وهلة، في ماونت فِرْنون.

تشققات شعرية في سطح العاج بين المواشير المتمعدنة التي يتألف منها. وتصبح هذه الشقوق داكنة اللون بفعل التصبغ الناجم عن الأكل والشرب والتدخين، مقارنة بمواشير العاج الناصعة. من الواضح أن ثمة من أخطأ عندما ظنَّ أن أنماط الوسخ تلك هي عروق الخشب، فنشأت الأسطورة.

إن الصحيح هو أن <واشنطن> كان قد فقَد معظم أسنانه قبل أن يزوره <هودون> في ماونت فِرنون. ففي الواقع، خُلِعت سنه الأولى عندما كان في بداية العشرينات من عمره. وحين بلوغه الثالثة والخمسين، لم يبقَ من أسنانه سوى سنَّيْن في الفك السفلي على الأرجح. إننا نجهل سبب مشكلته السنية، ولكن من المحتمل أنه أُصيب بأمراض سنِّية متتابعة، تفاقمت بسبب إدمانه أكل الجوز الذي كان يكسره بأسنانه، وفق اعترافه الشخصي. وعندما يفقد المرء سنا، يضمر العظم الذي كان جذر السن مغروسا فيه، فيتقلص ارتفاع الفك في تلك المنطقة. وعندما يفقد الكثير من أسنانه، فإن الفكين، وبخاصة الفك السفلي، يتغيَّران تماما حجما وشكلا. وهذا يعني أن عليَّ أن أحاول أولا تحديد حالة فكي <واشنطن> وتجويف فمه وهو في الثالثة والخمسين من العمر، قبل أن أتمكن من التفكير بإضافة أسنان وعظم وتشكيل جديد للفكين لاسترجاع هيئته وهو في التاسعة عشرة وفي الخامسة والأربعين من العمر.

بداية، كان عليَّ اقتفاء أثر وجود أي طقم أسنان متبقٍّ بعد موت <واشنطن> يُحتمل أن يكون قد استخدمه في تلك الحقبة من حياته. فتبيَّن أنه قد دُفن مع آخر طقم أسنان له. لكنني تمكنت من فحص صفيحة أسنان صنعها طبيب الأسنان <جوزيف گرينوود> في عام 1789، وهي موجودة في أكاديمية الطب بنيويورك، إضافة إلى جزء سفلي مما كان يوما طقما كاملا صنعه <گرينوود> في عام 1795 حينما فقد <واشنطن> سنه الأخيرة، وكان موجودا في المعرض السميثونياني، أما الآن فهو موجود في المتحف الوطني لطب الأسنان. لقد اختفى الجزء العلوي أثناء سرقة تعرض لها مستودع المعرض السميثونياني. أما المجموعة الكاملة الوحيدة التي استطعت الحصول عليها فقد كانت طقم أسنان، بدا غامضا أولَ وهلة، ضمن مجموعة ماونت فِرنون.

لقد وُجِدَت هذه المجموعة ضمن أحد صناديق الممتلكات الشخصية لـ <مارثا واشنطن> بعد وفاتها بعدة عقود. لم تكن لها أسنان صنعية، ولذا يُحتمل أنها تخص زوجها. ولم يعرف أحد مَنْ صَنَعها ومتى صُنِعت، مع أنني استطعت أن أخمِّن أنها قد صُنعت على الأرجح بين عامي 1789 و 1795. وقد أكد الباحثون أن الصفيحتين مصنوعتان من الرصاص، وأن الأسنان في الصفيحة العليا تتضمن قواطع عليا لحصان أو حمار، وسفلى لبقرة، وأن تلك التي في الفك السفلي هي أسنان إنسان، إضافة إلى جسم صنعي يُحتمل أن يكون قد نحت من قشرة جوزة. إن ما أدهشني هو أنني رأيت أن بعض الأسنان في الصفيحة السفلى هي أسنان بشرية عليا. وأشد غرابة هو اكتشافي أن طقم الأسنان غير قابل للاستخدام أساسا. فسطحا الصفيحتين الرصاصيتين لم يكونا مقعَّرين لاحتواء اللثة الخالية من الأسنان، بل كانا مسطحين. وأكثر من هذا هو أن النوابض التي تربط الصفيحتين معا وتضغطهما على اللثتين كانت متقوسة إلى الخلف، لا إلى الجانبين، وهذا ما يجعلها تدفع الصفيحتين خارجا عندما يفتح واشنطن فمه. إن الغرض الوحيد الممكن من طقم الأسنان هذا على الأرجح هو ملء تجويف فم <واشنطن> حينما كان يجلس لرسم لوحة له. ومع ذلك، عرفت من هذا الطقم شيئا عن حجم فكي الرئيس وشكليهما.

مسترشدا بأبعاد الأسنان الزائفة، بدأت بتجميع نموذجٍ لداخل فم <واشنطن>. بعدئذ، سوف أهتم بضم هذه المعلومات إلى معلومات قناع الوجه والتمثال النصفي اللذين شكَّلهما <هودون>.

تجميع الرأس(*)

بالتعاون مع <M. توشري> [الذي كان يعمل حينذاك لدى الشركة بريزم] أجريت قياسات على التمثال النصفي تخص عرض الفك السفلي في موضع اتصاله مع قاعدة الجمجمة. وبالمصادفة، كان لدى <B. بيكر> [العالمة في الأصول البشرية لدى حكومة ولاية أريزونا] مجموعة صغيرة من الهياكل العظمية لجنود بريطانيين من الحربَيْن الفرنسية والهندية. وكان لأحدها فك سفلي حجمه يساوي حجم فك <واشنطن> تقريبا، فمسحناه حاسوبيا ووضعناه رقميا ضمن وجه التمثال النصفي، وضخمناه قليلا ليصل إلى الحجم الصحيح. وبعدئذ قمنا رقميا بتهريم(1) الفك بِحَتِّ العظم وجميع الأسنان باستثناء الضاحك الثاني السفلي الأيسر. ورقميا وضعنا الأسنان الصنعية الموجودة في ماونت فِرنون على سطح الفك السفلي كما لو كانت متوضعة في فم <واشنطن>، وضبطنا انحناء العظم ومكان وارتفاع الضاحك ليصبح ملائما لمكانه. ثم زدنا دقة هذا التركيب بالمسح الحاسوبي لنسخة مطابقة للأسنان السفلية التي صنعها <گرينوود> في عام 1789، ووضَّعناها على المجموعة التي شكَّلناها. ونظرا إلى أن الذقن في الفك السفلي للجندي لا يطابق فك <واشنطن> تماما، فقد أعدنا تشكيل ذقن الجندي رقميا للحصول على شكل ذقن <واشنطن> العريض المائل. وباستخدام برنامج كتبه <J. هانسن> لدى الشركة بريزم خصوصا لهذا المشروع، غيَّرنا الزاوية الخلفية للفك السفلي لتعبِّر عمَّا استطعت استنتاجه عن الحنك من قناع الوجه، وعن تغيُّر شكل

(*) Putting the Head Together

(1) aging

العظم الذي يمكن أن يكون قد حصل خلال نحو ثلاثة عقود من فقدان الأسنان.

أما التشكيل الجديد للفك العلوي لـ ‹واشنطن›، فلم يكن بالأمر السهل لافتقارنا إلى القسم العلوي المسروق من طقم الأسنان الذي صنعه ‹كرينوود› في عام 1795. إلا أن المتحف الوطني لطب الأسنان كان يمتلك نسخة عن الأصل الكامل، وخطر ببالي أنه بإمكاننا أن نمسحها مع الفك السفلي الأصلي أيضا. لكنْ عندما قارنت بالعين المجردة النسخة بالفك السفلي الأصلي، رأيت اختلافات واضحة، فقد نُظِّفت النسخة كي تبدو أجمل من النسخة الأصلية المخيفة إلى حد ما. ومن حسن الطالع أن النسخة والأصل كانتا قد صُوِّرتا فوتوغرافيا معا، ولذا نستطيع مسح النسخة. ولما كنا نعرف حجمها، فقد استطعنا حساب حجم الأصل. وهكذا استطعنا توليد أسنان عليا ثلاثية الأبعاد. وعدَّلنا فك الجندي العلوي ليتوافق مع وضع تلك الأسنان فيه، وضبطنا التركيب العظمي الناتج ليتوافق أيضا مع وجه التمثال النصفي.

ولإدخال هذه المعلومات في وجه ‹واشنطن› وهو في الخامسة والأربعين، ومن ثمَّ وهو في التاسعة عشرة من عمره، لجأت إلى لوحات ‹تشارلز ويلسون پيل› التي تصوِّر ‹واشنطن› وهو في الأربعين، وفي السابعة والأربعين. وبعد أن أمضيت ساعات أحدِّق فيها، فوجئت بأن المسافة بين الأنف والذقن كانت أطول مما هي عليه في كلٍّ من التمثال النصفي واللوحات التي تمثل واشنطن في أعمار متقدمة. وللتوثُّق من هذا الأمر، قارنا نسخا رقمية ثنائية الأبعاد للوجوه في تلك اللوحات بالوجه الرقمي الثلاثي الأبعاد في التمثال النصفي. وأظهرت النسخ الرقمية اختلافا فعليا، وكان لذلك مغزى. فغالبا ما تُفقد الأسنان الخلفية أولا، والاستطالة السفلية البسيطة في وجه واشنطن عندما كان في الأربعين وفي السابعة والأربعين هي على الأرجح نتيجة وجود أسنان أمامية مع عظمها.

مستعينا باللوحات باعتبارها دليلا، استخدم ‹هانسن› برنامجه لتحويل طول الوجه الرقمي ذي الثلاثة والخمسين عاما إلى طول يتناسب مع وجهٍ أصغر عمرا. وقد لاحظت أن ذقن ‹واشنطن› في الأربعين وفي السابعة والأربعين كان أكثر تناظرا منه في التمثال النصفي أو في اللوحات التي تمثل أعمارا متقدمة، ولذا عدَّلناها وفق المقتضى. ثم ضممنا فك الجندي المعدَّل إلى ما أصبح الآن وجها ذا أربعين عاما وضبطناهما، وتوثَّقنا من الصورة بمقارنتها بالبيانات المستخلصة عن سماكة الجلد. ونظرا إلى أن ذا الخمسة والأربعين عاما يمتلك من العظم عادة على طول حنكه أكثر مما يمتلكه ذو الثلاثة والخمسين عاما، وجب أن تكون الزاوية في المؤخرة أفضل رسما. وأخيرا، حصلنا على القسم السفلي من الوجه ذي الخمسة والأربعين عاما، فاستخدمته نموذجا للوجه ذي التسعة عشر عاما، وجعلت زاوية الفك أشد وضوحا في النسخة التي هي أصغر عمرا. أما ما يخص بقية ملامح الوجه، فقد خفَّفتُ أو محوتُ التجاعيد وآثار الشيخوخة، وأضفت بعض الشحم إلى الوجنتين (فهو يُفقد مع تقدم السن) وقصَّرت الأنف وصيوانَيْ الأذنين (لأن غضاريفهما تنمو طوال الحياة).

إن إنشاء الوجوه الثلاثة لا يعني انتهاء العملية، فالجلد الذي تحت الذقن وحول العنق يجب أن يُشدَّ في الرأس ذي الخمسة والأربعين عاما، وأن يُشدَّ أكثر في الرأس ذي التسعة عشر عاما. وهكذا أصبحت الرؤوس جاهزة، وما علينا الآن إلا التشكيل الجديد للأجسام وضمُّ الرؤوس إليها رقميا.

تشكيل الجسم(*)

يصوِّر التمثال واللوحات هيئةً لـ ‹واشنطن› تختلف إلى حد ما عمَّا نتوقع رؤيته في بنية الذَّكَر في القرنين العشرين والحادي والعشرين. فقد اكتشفت أنه تماشيا مع تقاليد القرن الثامن عشر التي كانت شائعة بين الأسر الإنكليزية العريقة، أُلبِس ‹واشنطن› مِشَدّاً لخصره حتى بلوغه الخامسة من العمر. ولم أستطع الحصول على نموذج، أو حتى على وصف، لذلك المشد، لكنه يختلف حتما عن المشدّ الذي تستخدمه الفتيات والنساء لتضييق الخصر، فهو يجعل جسم الذكر يبدو كجسم راقص الباليه. إنه يشد الكتفين إلى الخلف، وينفخ الصدر إلى الأمام، ويسطِّح المنطقة بين عظمتي الكتفين وتحتهما، مولِّدا انحدارا طويلا من الرقبة في الجانبين؛ أما الانحناء الطبيعي للظهر السفلي نحو الوراء، فيُزاد لدفع البطن إلى الأمام. (ووفقا لما علمته أيضا، كان ‹واشنطن› راقص حفلات بارعا. وفي الواقع، كان يحتفظ بملاحظات تفصيلية عن كل نوع من الرقصات). وعندما يتغير مسار النمو في جسم الصبي، فإن الشكل الجديد يبقى طوال الحياة، وهذا ما يفسر أن اللوحات التي تمثل النبلاء الإنكليز في القرن الثامن عشر، ومنهم أولئك الذين وقَّعوا إعلان الاستقلال، تتضمن صورا مميزة لا تتضمنها اللوحات التي تمثل رجالا مرموقين في القرون اللاحقة.

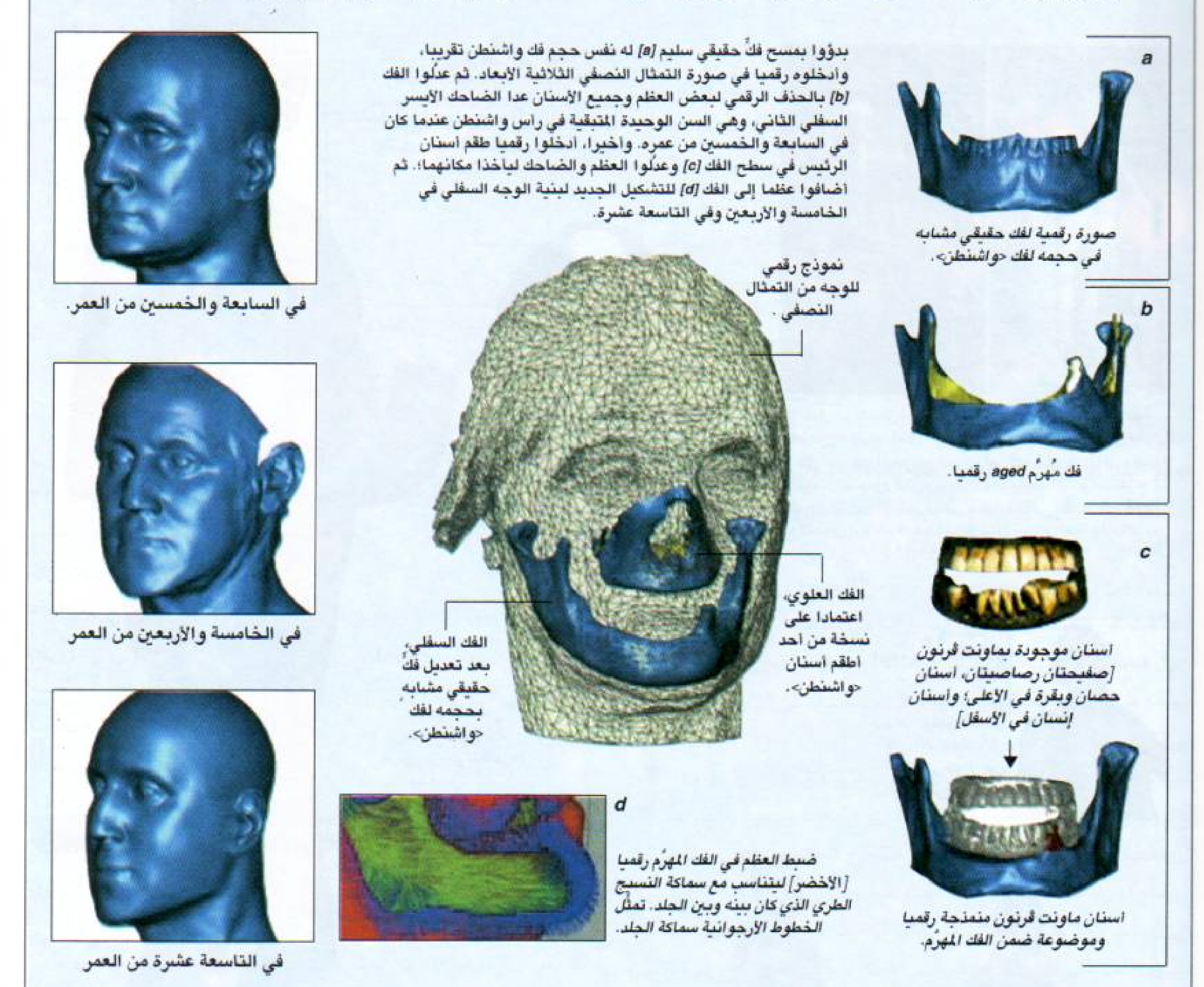
إن طول ‹واشنطن› الفريدَ في أيامه، والذي يبلغ نحو ست أقدام وبوصتين (لا ست أقدام وثلاث بوصات ونصف، كما يقال أحيانا، فهذا على الأرجح طول تابوته) كان يُعدُّ سببا لمهارته الفائقة، لا في الرقص فحسب، بل في الفروسية أيضا. فقد وُصف بأنه كان يلف ساقيه الطويلتين بشدة حول بطن جواده عندما كان يبز رفاقه في سباق الخيل. ووفقا لما اكتشفته، كان ‹واشنطن› يستطيع فعل ذلك، لا لأن ساقيه كانتا طويلتين فحسب، بل أيضا لأن كثيرا من سلالات الخيول التي كانت تربى في القرن الثامن عشر كانت أصغر حجما من معظم السلالات التي هُجِّنت خلال القرن التاسع عشر. وهناك سبب آخر، فقد تبين أنه يستند إلى وصف غير صحيح كُرِّر كثيرا، يفترض أن ‹واشنطن› كان عريض الوركين، وهذا ما يفسر قدرته على الجلوس جيدا على سرج الحصان.

للحصول على معلومات أكثر دقة عن بنية جسم ‹واشنطن›، طلبت إلى القيِّمين في ماونت ڤرنون أيَّ مجموعة أشياء يمكن أن

(*) Constructing the Body

إنهاء الوجه(*)

وفَّر تاريخ أسنان <واشنطن> معلومات مهمة لإتمام التشكيل الجديد لرأسه وهو في الخامسة والأربعين وفي التاسعة عشرة. إن فقدان الأسنان يؤدي إلى فقدان العظم الذي يقلص ارتفاع الفك ويغيِّر كثيرا حجمه وشكله. وحالما تمكَّن فريق التشكيل الجديد من تحديد شكل الفك لسن الثالثة والخمسين، أضاف سنا وعظما لإعادة تشكيل الفكين اللذين أخذا الشكل الذي كان لهما في أيام شباب <واشنطن>.



يكون قد ارتداها، فنمط الملابس حينذاك كان من النوع الضيق الذي ينطبق على الجسم تماما، وبخاصة حول الجذع والوركين والساقين. لكن كان عليَّ أن أقلِّص قائمة رغباتي سريعا، إذ لم تكن ثمة قبعات أو أحذية أو جِزَمٍ أو قفازات يمكن أن تزودنا بتفاصيل عن حجم وشكل الرأس واليدين والقدمين. أما مجموعات الأشياء الموجودة في ماونت فِرنون ومتاحف أخرى، فتضمنت ملابس من الحقبة الممتدة من عام 1770 حتى عام 1790 (أي من منتصف عمره حتى أواخر حياته) فقد أمكن التوثُّق من أن <واشنطن> ارتداها ولم تُعدَّل بعد وفاته لتلائم أقاربه. وبمساعدة العين الخبيرة لـ <L. بومگارتن>، [القيِّمة على الأقمشة في متحف المقاطعة Colonial Williamsburg] حصلت على مقاسات ملابس <واشنطن>، وقارنتها بالتمثال الذي صنعه <هودون>.

لقد تبيَّن أن هذه المقارنات كانت شديدة الأهمية عندما درست التمثال المقام في مبنى البرلمان الحكومي في ريتشموند بفيرجينيا. فعندما اقتربت من التمثال أولَ مرة، لاحظت مباشرة أن واشنطن يبدو أنحل بكثير مما صوَّرَتْه الأوصاف واللوحات، وخصوصا عند الوركين. وبمساعدة <G. كوبر> و <S. ڤان نوت> [اللذين يعملان في الشركة بريزم] قارنت طولي ذراعي وساقي التمثال والعرض بين كتفيه بالقياسات التي أخذتها من الملابس، وكانت النتيجة أنها

(*) Finshing the Face

التشكيل الجديد للجسم(*)

كان الأب المؤسس لأمريكا طويلا ونحيلا ومفتول العضلات في التاسعة عشرة من عمره. وعندما نُصب التمثال، الذي نراه هنا بالطول الكامل أولَ مرة، في ماونت فرنون في مطلع هذا العام، أُلبس الزي الذي كان <واشنطن> قد ارتداه عندما كان مساحا للحدود. وقد رُبط شعره البني، المائل إلى الحمرة، إلى الخلف على شكل ذيل حصان.



تطلَّب وضع الراس على الجسم "خياطة" رقمية مضنية؛ فحافات هذين القسمين مؤلفة من مثلثات صغيرة كثيرة بدلا من ان تكون قطعا ملساء، ولذلك كانت عملية وصلها معا أشبه بتجميع القطع الدقيقة في أحجية الصورة المجزّأة.

إن طول <واشنطن> الأكثر دقة ياتي من التمثال الذي صنعه <هودون> في عام 1785 [*اليسار*] والذي يُظهر الرئيس بطول لا يقل عن ست أقدام وبوصتين. اما اللوحات فهي اقل وثوقية؛ فاللوحة الشهيرة التي رسمها <ستيوارت> لـ <واشنطن> بالطول الكامل [*اليمين*]، على سبيل المثال، تتضمن اشياء من <واشنطن>، وأشياء من آخرين مثلوه أمام <ستيوارت>.

أُلبس <واشنطن> مشداً حتى الخامسة من العمر تقريبا، لشدّ الكتفين إلى الخلف، ونفخ الصدر إلى الأمام وتكوين انحدار طويل من الرقبة إلى الكتفين.

تبيِّن الملابس الموجودة ضمن مجموعة ماونت فرنون ان <واشنطن>، مع نحوله غير العادي، كان اسمن بقليل مما يصوِّره التمثال.

تقدِّم لوحات <ترمبُل> المرسومة في عام 1797 دليلا إضافيا على طول ساقي <واشنطن> اللتين، وفق ما يقال، كان باستطاعته لفهما حول بطن حصانه. [يبدو <واشنطن> على حصان أسود *في النصف الأيمن من الصورة*].

في التاسعة عشرة من العمر

في السابعة والخمسين من العمر

في الخامسة والأربعين من العمر [ممتطيا حصانا]

(*) Re-Creating the Body

تماشيا مع الأعراف السائدة في القرن الثامن عشر، أُلبِس واشنطن مِشداً حتى بلغ الخامسةَ من العمر.

متماثلة تقريبا، مع أن الملابس أشارت إلى شخص أضخم قليلا مما يمثِّله التمثال. لم يكن أضخم كثيرا، لكن بضعة سنتيمترات هنا أو هناك تمثِّل فرقا. وضبطنا شكل التمثال رقميا وفق ذلك. وانطلاقا منه، استطعت إعادة تركيب الأجسام ذات التسعة عشر عاما، والخمسة والأربعين عاما، والسبعة والخمسين عاما، مسترشدا بالمعرفة العامة عن كيفية تغيُّر الأجسام مع تقدم العمر، وبمعلومات معينة تخص واشنطن نفسه.

إن الوثائق التاريخية التي تنطوي على أن ‹واشنطن› كان هزيل البنية في سنواته الأخيرة، بسبب نوبات المرض وصعوبة تناول الطعام، تعزِّز القياسات المأخوذة من الثياب. لذا رأيت من المعقول أن أستخدم جسم التمثال المعدَّل ليمثِّل شخص السابعة والخمسين. أما جسم الخامسة والأربعين، فقد تطلب نهجا مختلفا. إن لوحات ‹پيل الأب› لـ ‹واشنطن› في الأربعين وفي السابعة والأربعين تُري الجنرال ممتلئا حول البطن والوركين مقارنة بما تبينه اللوحات والملابس اللاحقة. وتساءلت عن سبب سمنته، ولا سيما أنه في السابعة والأربعين كان قد تحمَّل مشقات الحرب، ومنها عناء الشتاء في وادي فورج. فقد كان ألم أسنانه خلال هذه السنوات متواصلا إلى حد يمكن أن يكون قد دفعه إلى تغيير نظامه الغذائي وتناول طعام أكثر ليونة ودسما على الأرجح. (لقد بلغت معاناة واشنطن خلال حرب ترِنْتون Trenton عام 1776، وكان حينذاك في الرابعة والأربعين، درجة جعلت طبيبه يكلِّف حدّادا أن يصنع كماشة كي يتمكن من اقتلاع الضرس الذي يسبب له الإزعاج). وهكذا جعلتُ جسم الخامسة والأربعين أضخم، وبخاصة في الوسط. أما جسم التاسعة عشرة، حتى إنْ كان قد وصل إلى الطول النهائي للشخص البالغ، فإنه لا يكون قد نضج هرمونيا. قد يكون قد اكتسب لياقة نتيجة صعوده التلال ونزوله عنها حاملا معدات المساحة، ومع ذلك يمكن أن يكون نحيلا وقويا، وهذه هي الصورة التي ارتأيت أن أرسمها له.

أخيرا استطعنا وضع الرؤوس على الأجساد. وللقيام بذلك كان علينا أن نخيط الصورة الرقمية لكل رأس وجسم معا. تعطي الصورة الرقمية نقاطا من البيانات تتصل معا لتشكِّل مثلثات، لذا كان العمل أشبه بحل أحجية الصورة المجزَّأة، وذلك بضم آلاف المضلعات الصغيرة معا. بعدئذ أرسلنا البيانات الرقمية إلى الشركة Kreysler and Associates في كاليفورنيا الشمالية لاستخدامها في صنع ثلاثة رؤوس مختلفة لـ‹واشنطن› من الإسفنج البلاستيكي الكثيف.

ونُقِلت هذه الرؤوس إلى الاستديو Studio EIS في مدينة نيويورك، حيث صُنِعت قوالب لها بهدف تشكيلها من الصلصال. وفي النهاية، سوف تُضمُّ الرؤوس، اعتمادا على الصورة الرقمية المجزَّأة، إلى الأجسام التي صنعت في الاستديو. وسوف تُبنى الأجسام من الإسفنج الكثيف، وتغطى بالجص، وتبطن حيث تدعو الحاجة إلى محاكاة طراوة الجسد الحقيقي. لقد عملت مع النحات ‹S. ويليامسون›، [المستشار لدى الاستديو EIS]، لإعطاء كل وجه تعبيرا مميزا له قبل صنع قالب الصلصال الذي سيُستخدم في إنتاج نسخ من الشمع. وقامت ‹S. داي›، [وهي رسامة تعمل مستشارةً أيضا في الاستديو]، بطلاء الوجوه الشمعية كي تبدو نابضة بالحياة إلى أبعد حد ممكن، جاعلة الجلد شاحبا والوجنتين ورديتين والعينين زرقاوين مائلتين إلى الرمادي، وفق وصف ‹جيلبرت ستيوارت› لـ ‹واشنطن›. وسيُزرع شعر ضارب إلى الحمرة في الرأسين الأصغر عمرا، وسيُربط إلى الخلف على غرار ما كان عليه الشعر المستعار حينذاك. أما رأس السابعة والخمسين، فسيكون شعره مائلا إلى الرمادي ليحاكي مظهره المزيَّن بالمساحيق في مشهد تنصيبه رئيسا.

في الختام، آمل أن يعبِّر كلٌّ من هذه التماثيل الثلاثة لأبي هذه البلاد، عن بعض الحيوية والجانب الإنساني لشخص سيبقى، مع أهميته التاريخية، رمزا ليس له صبغة معينة في نظر معظم الأمريكيين. ومن ناحية أخرى، فقد أسفر المشروع عن نتيجة مهمة أخرى، هي أن التعاون غير المسبوق بين مجالات أبحاث مختلفة وتطبيق تلك الأبحاث مكَّناني، ومن تعاونت معهم، من تحقيق فتوح في صهر العلم والفن والتاريخ معا بطرائق كان من الصعب تخيلها حتى قبل سنوات قليلة. ■

المؤلف

JEFFREY H. SCHWARTZ

أستاذ في قسمي علم الأصول البشرية وتاريخ وفلسفة العلوم بجامعة بيتسبورك، وباحث مشارك في المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي ومتحف كارنيكي للتاريخ الطبيعي، وخبير في الأصول البشرية بمكتب التحقيق الجنائي في مقاطعة ألّكني بينسلڤانيا. تشمل أبحاثه تطور الرئيسات البشرية وغير البشرية ونظرية التطور وعلم الأحياء التطوُّري وعلم تشكُّل الهيكل العظمي المقارن. وهو عضو في الأكاديمية العالمية للفنون والعلوم، ومؤلف لعشرة كتب ولأكثر من 150 مقالة. ومن أحدث منشوراته: The Human Fossil Record, with Ian Tattersall (Wiley-Liss, 2002, 2003, 2005), The Red Ape: Orangutans and Human Origins (Westview, 2005)

مراجع للاستزادة

George and Martha Washington: Portraits from the Presidential Years. Ellen G. Miles. Smithsonian Institution, National Portrait Gallery, 1999. Exhibition Web site: **www.npg.si.edu/exh/gw/**

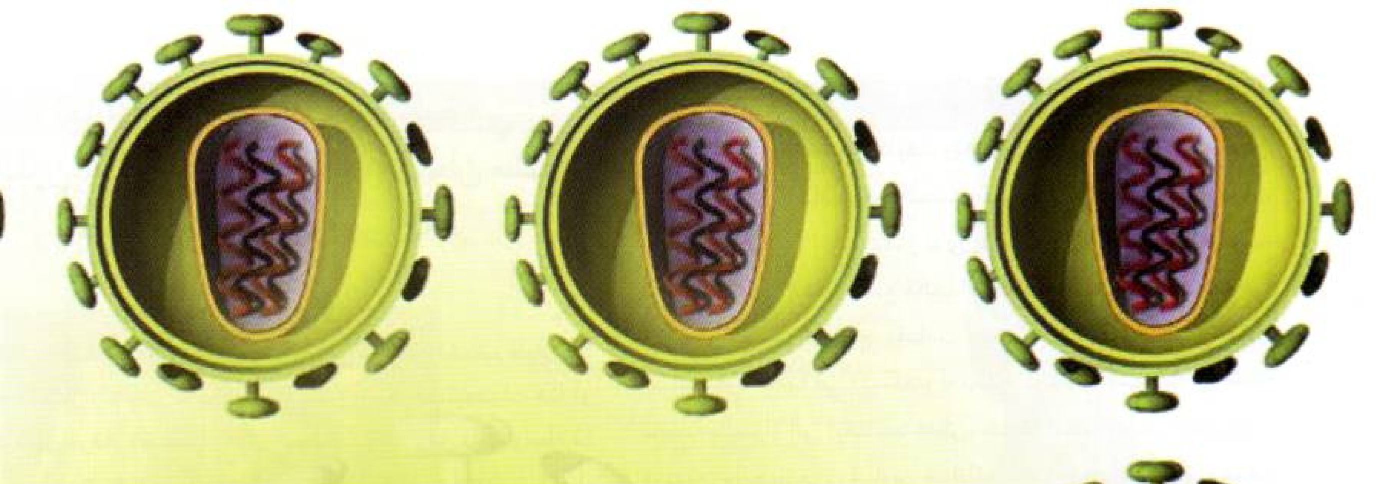
His Excellency: George Washington. Joseph J. Ellis. Vintage, 2005.

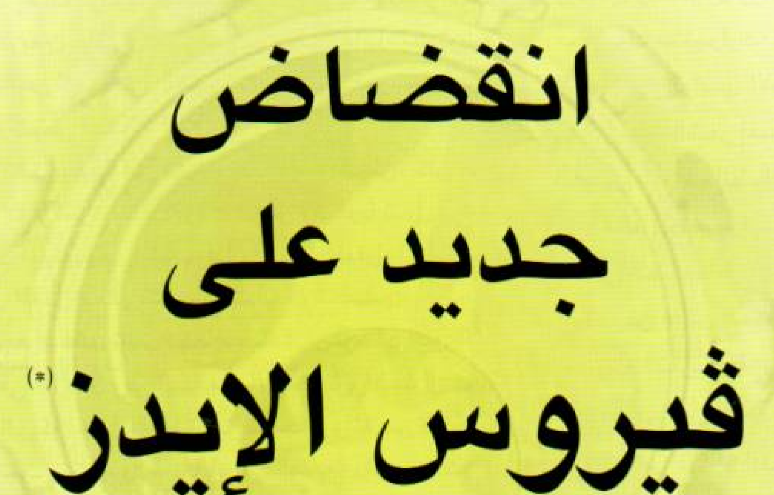
1776. David McCullough. Simon & Schuster, 2005.

Skeleton Keys: An Introduction to Human Skeletal Morphology, Development, and Analysis. Second revised edition. Jeffrey H. Schwartz. Oxford University Press (in press).

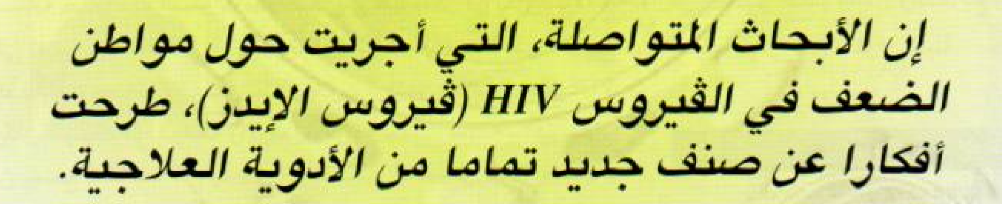
The Mount Vernon Web site: **www.mountvernon.org**

Scientific American, February 2006





انقضاض جديد على ڤيروس الإيدز(*)



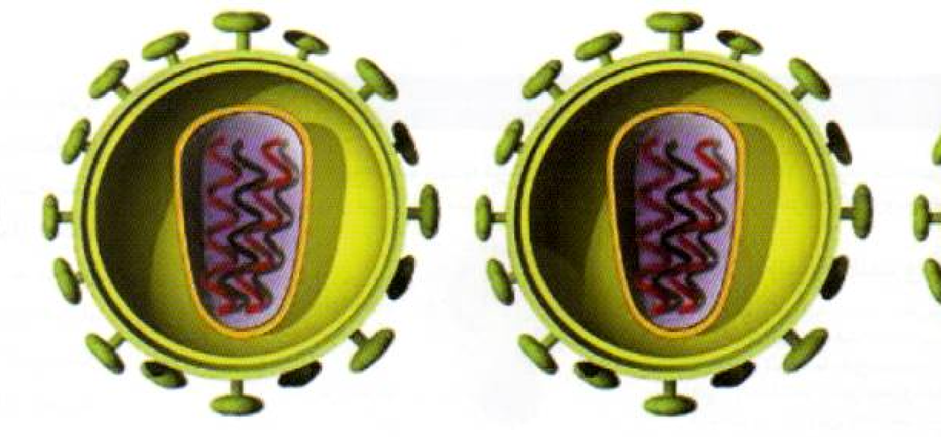
إن الأبحاث المتواصلة، التي أجريت حول مواطن الضعف في الڤيروس HIV (ڤيروس الإيدز)، طرحت أفكارا عن صنف جديد تماما من الأدوية العلاجية.

<G. ستيكس>

ينفق حقل **علم الڤيروسات** virology قسطا وافرا من موارده في استقصاء كل خطوة من الخطوات البالغة الدقة في دورة حياة ڤيروس العوز المناعي البشري (الايدز) HIV، بدءا بارتباطه بإحدى الخلايا المناعية وولوجه داخلها، ومرورا بتنسُّخه فيها، وانتهاء بانطلاق ڤيروسات جديدة من الخلايا المضيفة باحثة عن خلايا جديدة تفترسها. وقد جرى ابتكار أحدث صنف مهم من الأدوية المضادة للڤيروس HIV قبل نحو عقد من الزمن مع إدخال **مثبطات إنزيم البروتياز** protease inhibiters، وهي أدوية توقف عمل أحد الإنزيمات المهمة في المرحلة الأخيرة من تنسُّخ الڤيروس.

لقد تساءل بعض أعضاء فرق الأبحاث التي تدرس الڤيروس HIV عما إذا كان بوسع مثبطات إنزيم البروتياز أن تكون أساسا يُعْتمد عليه في مداواة الايدز. إلا أن ما يتسم به الڤيروس من مكر أضاع ذلك الأمل. فقد تبين في إحدى الدراسات أن ما يقرب من نصف

(*) ANEW ASSAULT ON HIV



المرضى الإيجابيي الڤيروس HIV، الذين يعالجون في الولايات المتحدة الأمريكية، مصابون بالعدوى بڤيروسات مقاومة لواحد على الأقل من أدوية النظام العلاجي الذي يتلقونه. إن بإمكان الأطباء اختيار دواء من بين عشرين من المستحضرات الصيدلانية لمثبطات إنزيم البروتياز، ومن صنفين من الأدوية التي تمنع الڤيروس المهاجم من نسخ ما فيه من **رنا** RNA **إلى دنا** DNA، مسببة بذلك إفساد التنسُّخ الڤيروسي. أما إعطاء توليفة من هذه الأدوية فيؤدي إلى معاكسة القدرة المتأصلة لدى الڤيروس على التطفُّر. ولكن تلك الاستراتيجية لا تأخذ بالاعتبار دائما المقاومة للأدوية، ومن بينها المقاومة للأدوية المثبطة لإنزيم البروتياز. ويؤكد <E. فريد> [وهو أحد الباحثين في برنامج مقاومة الڤيروس HIV للأدوية في المعاهد الوطنية (الأمريكية) للصحة]، بقوله: «إذا أخذنا المقاومة المتزايدة لمثبطات إنزيم البروتياز في الحسبان، فإن تعرُّف طرق جديدة للتدخُّل في دورة التنسُّخ الڤيروسي يصبح أمرا بالغ الأهمية.»

وفي الوقت الحالي تمر الأدوية، التي تعترض بداية سيرورة الڤيروسات ووسطها ونهايتها ضمن العائل، بمراحل مختلفة من الابتكار والإعداد. ويستلهم الباحثون الأكاديميون والباحثون في الشركة پاناكوس، [وهي مؤسسة صغيرة متخصصة في التقانة الحيوية في ووترتاون بماساتشوستس] ما تحققه الأدوية المثبطة لإنزيم البروتياز من نجاحات، لابتكار أدوية مرشحة للنجاح أيضا أطلقوا عليها اسم **مثبطات النضج** maturation inhibitors، تعمل على إحصار إنزيم البروتياز بطريقة جديدة. إن مثبطات إنزيم البروتياز تشن هجومها المباشر على إنزيم البروتياز في الڤيروس HIV فتحول بينه وبين القيام بعمله على البروتين الڤيروسي الذي يدعى GAG. وحينما تنقطع البروتينات GAG بشكل ملائم تتضافر القطع الناتجة لتشكل النواة المخروطية الواقية، أو **القُفَيْصَة** capsid التي تحتضن الرنا داخلها. وفي المقابل، إن مثبطات النضج التي يعمل فريق الشركة پاناكوس على تطويرها، تحصر أحد المواقع على البروتين GAG، وهو الموقع الذي يرتبط به إنزيم البروتياز في الحالة السوية، لتمنع هذا الإنزيم من قضم البروتينات GAG على نحو صحيح. ونتيجة لذلك لا تتشكل القُفَيْصَة بشكل سوي، كما لا يتمكن الڤيروس من إصابة خلية أخرى بالعدوى.

البحث عن دلالات(*)

منذ منتصف التسعينات بدأ السير في طريق البحث عن الأدوية المرشحة لتكون ضمن اهتمامات فريق الشركة پاناكوس، وذلك حينما تعاونت الشركة بوسطن بيوميديكا مع أستاذ من جامعة كارولينا الشمالية [في شابل هيل] للتحري عن المركَّبات التي استُخلصت من مجموعة أعشاب صينية تقليدية بحثا عن فعالية كيميائية حيوية مضادة للڤيروس HIV، وعندها أثارت مختبرات <H.K. لي> الانتباه إلى أن أحد الأدوية المحتملة في إحدى الأعشاب التايوانية سيحتل موقعا متقدما.

وكان لهذا المركب، وهو **حمض البيتيولينك** betulinic acid، فعالية ضعيفة مضادة للڤيروس HIV. وبعد أن استفرد الباحثون في المختبر من هذا المركب مكوناته الكيميائية، وجدوا أن التعديل الكيميائي لأحد هذه المكونات يكسبه تأثيرا كيميائيا أقوى. ويقول <G. أولاوي> [رئيس العاملين في الشركة پاناكوس]: «إذا كان لحمض البيتيولينك فعالية مضادة للڤيروس HIV على المستوى **الميكرومولي** micromolar، فإن لهذا المركب المشتق منه فعالية على المستوى **النانومولي** nanomolar.»

وقبل ستة أعوام حولت الشركة بوسطن بيوميديكا وحدة الأبحاث حول الڤيروس HIV إلى الشركة پاناكوس التي بدأت منذ ذلك الوقت استقصاءاتها عن حمض البيتيولينك، الذي أطلق عليه حينذاك اسم PA-457. ولم يكن المركب PA-457 مجرد مثيل جديد للتاكسول Taxol الذي هو دواء مضاد للسرطان تطلَّب الحصول عليه إتلاف أشجار **الطقسوس** yew، النادرة، وكان ذلك أمرا مثيرا للجدل قبل العثور على بديل له نصف تخليقي. ولم تكن الشركة پاناكوس بحاجة إلى مصدر دائم للأعشاب التايوانية؛ إذ كان من الممكن استخلاص حمض البيتيولينك من أشجار **الدلب** plane و**البتولا** birch الوفيرة؛ كما لا يتطلب الحصول على الجزيء المطلوب سوى خطوة عملية تصنيع لاحقة.

ومع أن الباحثين أدركوا مابدا من أن للمركب PA-457 فعالية مضادة لجميع ذراري الڤيروس HIV، فقد كان عليهم أن يتعرفوا كيفية عمل المركب المشتق من حمض البيتيولينك المضاد للڤيروس على المستوى **الجزيئي** molecular. وكان مطلب الشركة الحصول على صنف جديد من الأدوية، وليس الحصول على مركب آخر من مثبطات البروتياز فحسب. ولهذا اتصلت الشركة پاناكوس بالمختبر فريد Freed في المعاهد الوطنية للصحة، الذي يقوم بدراسات حول دورة حياة هذا الڤيروس.

(*) Looking for leads

وقد استقر رأي فريق المختبر فريد والشركة باناكوس على أن الدواء يعمل في مرحلة متأخرة من عملية التنسُّخ الفيروسي، وبدا واضحا أن هذا يتم في مرحلة تشكيل القُفَيْصَة. وكان الباحثون حينذاك يعرفون أن قُفَيْصة الفيروس HIV تتشكل حين ارتباط البروتينات GAG الحديثة التكون داخل **الخلية التائية** T cell لدى العائل بغشاء الخلية، وعندها تتقطع بتأثير إنزيم پروتياز الفيروس HIV إلى قطع أصغر حجما. وقد عرف العاملون في مجموعة المختبر فريد والشركة باناكوس أيضا، من خلال ابتكارهم للأدوية المثبطة للبروتينات، أن أي اختلال في عملية تصنيع البروتينات GAG سيجعل الفيروس غير معدٍ. وهكذا بدؤوا بدراسة التآثر بين المركب PA-457 وبين البروتينات GAG للوصول إلى معرفة دقيقة عن كيفية قيام المركب PA-457 بتقطيع البروتينات GAG إلى أجزائها الضرورية.

تنمية المقاومة(*)

لكي يفهم العلماء كيف يعمل مركب ما، فإنهم يبدؤون غالبا بإنشاء المقاومة؛ الأمر الذي يمكّنهم من معرفة الموقع الدقيق الذي يتآثر فيه الدواء مع الموضع المستهدف. وابتغاء تطوير المقاومة أعطى <فريد> وزملاؤه جرعات منخفضة من المركب PA-457 لخلايا تائية مصابة في المستنبتات بالفيروس HIV. وتم بعدئذ الحصول على سلسلة **جينوم (مجين)** genome الفيروسات المقاومة ومقارنتها بسلسلة الفيروس التي خضعت للمعالجة بالدواء PA-457. وأدى التحليل إلى معرفة الموقع الذي تغيَّر في الفيروسات المتشكلة حديثا والمقاومة للدواء PA-457، واتضح أن هذا الموقع موجود على البروتينات GAG في المكان الذي يرتبط به إنزيم البروتياز. وهذا التغيُّر هو الذي حال دون إحصار الدواء PA-457 لفعالية الإنزيم.

ولدى تحليل الذراري المقاومة تيقن الباحثون أن الدواء PA-457 لم يكن مجرد مثبط آخر من مثبطات إنزيم البروتياز. ففي حين تعمل معظم الأدوية، وليس المثبطة للفيروس HIV فحسب، من خلال التدخل بالإنزيمات، فإن لهذا الدواء ميزة فريدة يوضحها <أولاوي> بقوله: «إن استهداف **الركيزة** substrate [بدلا من الإنزيم] لم يكن أمرا معروفا من قبل، بل كان أمرا مثيرا للدهشة. ونتيجة لذلك، نعتقد أننا سنحظى بموقع قوي للحصول على براءة اختراع.»

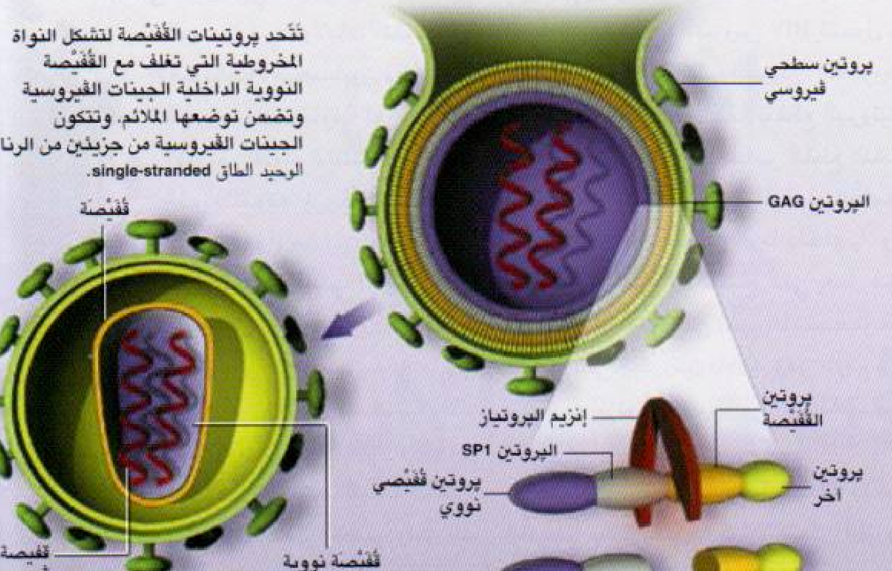
إن زرع ذرارٍ مقاومة لا يعني بالضرورة أن الدواء سيكون ذا **مدى عمر** life span علاجي محدود. وفي الحقيقة إن المقاومة تجاه الدواء PA-457 لن تتطور بسرعة، لأن الموقع الذي يرتبط به على البروتين GAG لا تغيره الطفرات سريعا من إحدى ذراري الفيروس HIV إلى أخرى.

لقد مر الدواء PA-457 قبل الآن عبر الطور المتوسط من دراسة سريرية (إكلينيكية)، وهو الطور الذي يتحقق الباحثون فيه من فعالية الدواء لدى مرضى يتناولونه مدة عشرة أيام ومقارنتها بمجموعة أخرى تعطى **دواء غُفْلا** placebo. إن الفيروس HIV يتنسخ بسرعة كبيرة إلى درجة تجعل من الممكن اعتماد دراسة قصيرة الأمد لتقرير ما إذا كان الدواء يهاجم العامل المسبب للمرض داخل الجسم. وقد تناقصت المستويات الفيروسية بمقدار 92 في المئة لدى تناول الجرعة الأعلى من الدواء ومقدارها 200 ملّيغرام. وكانت الدراسة تهدف إلى تحقيق نقص يعادل 70 في المئة على الأقل فيما يدعى **الحِمْل الفيروسي** viral load، كإشارة بدئية إلى فعالية الدواء. إلا أن بعض المرضى مع ذلك لم يستجيبوا للدواء، وستقرر الشركة في الطور التالي من

استراتيجية جديدة لعلاج الفيروس HIV(**)

تشكل مثبطات النضج صنفا جديدا من الأدوية المضادة للفيروس HIV التي لاتزال قيد الدراسة. وتهاجم هذه الأدوية الفيروس في مرحلة متأخرة من دورة حياته عندما تتجمع مكونات الفيروس الحديثة التشكل

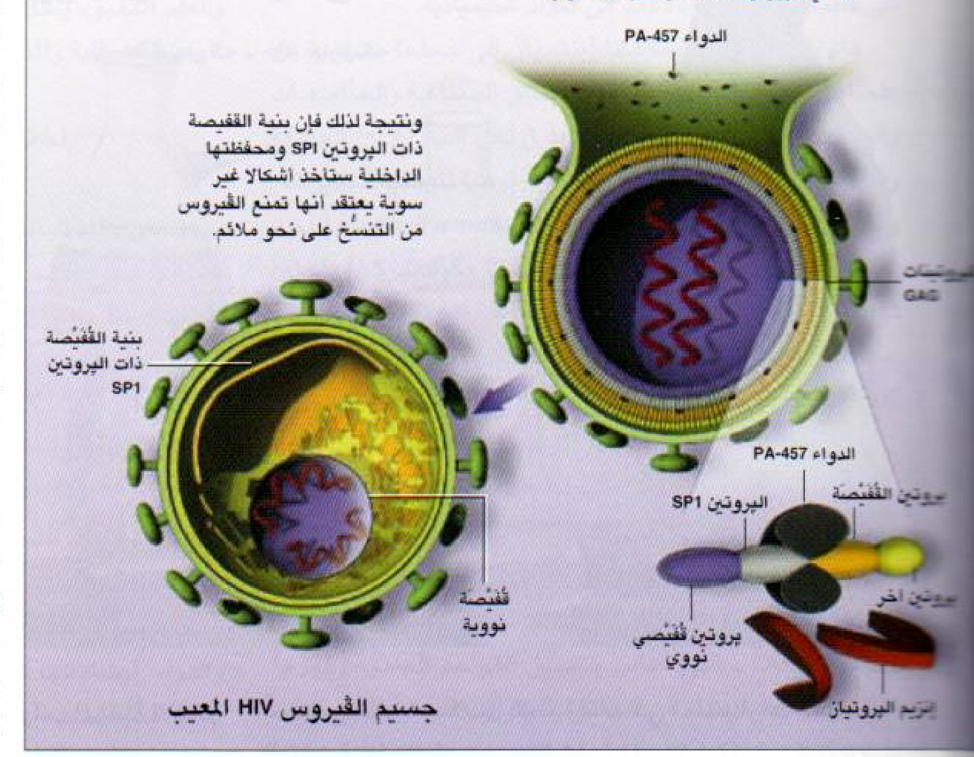




Cultivation of Resistance (*)
A Novel Treatment Strategy for HIV (**)

فرعية) subunits القفيصة بعضها إلى بعض لتشكيل الغلاف النهائي. ويقول <P. بريفيليج> [الأستاذ في قسم علم الأحياء المجهرية بجامعة ألاباما]: «نحن نحاول أن نشوّه الأجزاء كي نجعلها غير متلائمة بعضها مع بعض.»

وتتماشى هذه الاستراتيجية مع الأساليب الأخرى التي هي في طور الإعداد لإفساد دورة حياة الڤيروس. فالعوامل المثبطة لدخول الڤيروس - والتي تشتمل على هذا الدواء الذي تعمل عليه الشركة پاناكوس - تحول دون دخول الڤيروس إلى الخلية. (وقد حاز مؤخرا أحد العوامل المثبطة لدخول الڤيروس إلى الخلايا - وهو يؤخذ عن طريق الحقن - على موافقة إدارة الغذاء والدواء، إلا أن الدواء الذي تعده الشركة پاناكوس يؤخذ عن طريق الفم). ومن الأصناف الأخرى للأدوية التي وصلت إلى المراحل النهائية من الاختبارات مثبطات **إنزيم الإنتكراز (إنزيم الدمج)** integrase، التي تحبط عمل الإنزيم الذي يسمح للدنا الڤيروسي الصنع بالاندماج ضمن دنا الخلية العائلة لإنتاج دنا ڤيروسي جديد. إن هذه العوامل البيولوجية جميعها - والمزيد منها - ضرورية. وفي غياب لقاح - لا يتوقع ظهوره على المدى القريب - فإن هذا الڤيروس الوضيع ذا المحفظة التي لا يتجاوز قياسها نانومترا واحدا لرنا وحيد الطاق، سيستمر في مراوغة أفضل الأفكار التي يطرحها علماء البيولوجيا الجزيئية. ■



الاختبار فيما إذا كان بمقدورها إعطاء جرعات أعلى. ويقول <J .M. جاكوبسون> [رئيس قسم الأمراض المعدية في كلية الطب بجامعة دريكسل، والباحث الرئيسي في الاختبارات السريرية]: «إن الرسالة الأساسية هي أننا بصدد دواء فعال، ويجب علينا المضي قُدُما بالأبحاث.»

وفي الجولة القادمة سيدرس الباحثون التآثرات المتبادلة بين الدواء PA-457 وبين غيره من الأدوية؛ وهو اختبار ضروري في جميع الأدوية المرشحة المضادة للڤيروس HIV؛ إذ لا توجد معالجة تقتصر على إعطاء دواء وحيد، نظرا لما يحمله ذلك من تهديدات ظهور المقاومة. وفي الوقت الراهن تشجع إدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA) إجراء هذه الاختبارات في مرحلة مبكرة من التجارب السريرية. وفي بعض الأحيان لم يكتشف الباحثون، حين تطويرهم أدوية جديدة مضادة للڤيروس HIV، هذه التآثرات إلا في وقت متأخر من سيرورة التجربة السريرية. وإذا ما سارت الأمور جميعها وفق الخطة الموضوعة لها، فسيكون بمقدور الشركة پاناكوس التقدم بطلبها إلى إدارة الغذاء والدواء للحصول على الموافقة النهائية بحلول عام 2008.

حوافظ أخرى لعدم النضج(*)

ومع أن الدواء PA-457 هو أكثر مثبطات النضج إحرازا للتقدم نحو الاستثمار التجاري، فإنه ليس المثال الوحيد على مثبطات النضج؛ ففي كل من جامعة ألاباما وجامعة ميريلاند كشف الباحثون، الذين كانوا يعملون مستقلين من الجامعتين، جزيئات عضويةً صغيرة يمكنها الحيلولة دون انضمامِ **وُحَيْدات (وحدات**

(*) Other Immaturity Preservers

مراجع للاستزادة

PA-457: A Potent HIV Inhibitor That Disrupts Core Condensation by Targeting a Late Step in Gag Processing. F. Li et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 100, No. 23, pages 13555–13560; November 11, 2003.

The Prevalence of Antiretroviral Drug Resistance in the United States. Douglas D. Richman et al. in *AIDS*, Vol. 18, No. 10, pages 1393–1401; July 2, 2004.

The Discovery of a Class of Novel HIV-1 Maturation Inhibitors and Their Potential in the Therapy of HIV. Donglei Yu et al. in *Expert Opinion on Investigational Drugs*, Vol. 14, No. 6, pages 681–693; June 2005.

Scientific American, June 2006

حماية تتعدى عالَم الحيوان(*)

غالبا ما تؤدي اختبارات السلامة الفائقة الدقة إلى فائدة غير متوقعة تقلل من معاناة الحيوان.

<M.A. كولدبيرك> ـ <Th. هارتونگ>



خلال عدة أشهر من عام 1999، كانت الأرانب المزغبة الأقدام وذات الآذان الكبيرة العريضة والعيون الحزينة، تطارد مرشح الرئاسة <A. كور> أثناء حملته الانتخابية. وتعود جريمة <كور> [نائب الرئيس] إلى أنه سبب معاناة أو نفوق نحو مليون حيوان نتيجة مبادرته لإطلاق برنامج الاختبارات السمية الكيميائية. ويعتقد معظم المراقبين أن هذا البرنامج جاء متأخرا جدا.

قبل عامين من ذلك كانت المجموعة التي تدعى حاليا حماة البيئة، قد استنتجت أن هناك معلومات كافية مؤكدة حول سلامة نحو ربع المئة ألف فقط من المواد الكيميائية الشائعة الاستعمال، وأن كلا من وكالة حماية البيئة ومجموعة التجارة المعروفة حاليا بالمجلس الكيميائي الأمريكي، كانتا قد وافقتا على ذلك. لقد دعا <كور> جميع الجهات المهتمة بالموضوع ـ الفعاليات البيئية، المنظمون والمصنعون ـ إلى المبادرة ببدء برنامج لإنجاز اختبارات السلامة الدنيا على 2800 مادة كيميائية تنتجها الولايات المتحدة الأمريكية أو تستوردها بأكثر من مليون رطل (پاوند) في العام الواحد. ويمكن الاطلاع على هذه المعلومات، التي تم الحصول عليها على موقع عام في شبكة الوِب web.

لقد أكد الأرنب العملاق على الحقيقة الأساسية التالية: يُضحى سنويا بملايين الحيوانات في اختبارات السمية الروتينية، ويمكن أن تسبب البرامج المستقبلية زيادة كبيرة في هذه الأرقام. لقد وضعت وكالة حماية البيئة EPA قائمة أولية لنحو ثمانين ألف مادة كيميائية، يجب أن تجمع حولها معلومات السلامة الأساسية؛ إضافة إلى ذلك فهي تطمح إلى المطالبة **بمبادرة لحماية صحة الطفل** Children's Health Initiative وذلك بفحص الظواهر المرافقة، مثل التأثيرات الطويلة الأمد لتعريض الأجنة للمادة الكيميائية. في حين ركّزت جهود أخرى لوكالة حماية البيئة على العواقب العصبية للتعرض للرصاص وللزئبق وللسموم المشابهة الأخرى في الإنجاب والنمو أو التنامي. وعبر المحيط الأطلسي سوف يقوم **برنامج التسجيل والتقييم والترخيص للكيميائيات** Registration, Evaluation & Autorization of CHemicals (المسمى اختصارا REACH) بتقييم سلامة ثلاثين ألف مادة كيميائية منتجة أو متاجر بها في أوروبا بما يزيد على طن متري واحد (1000 طن) سنويا. وفي عام 2001 قام مجلس الأبحاث الطبية البريطاني بحساب تكلفة هذا البرنامج لوحده والتي تقدر بنحو 11.5 بليون دولار ويتطلب مدة تصل إلى 40 عاما وإلى استخدام ما يزيد على 13 مليون

(*) PROTECTING MORE THAN ANIMALS

طالبت مجموعة صغيرة من العلماء تنتشر حول العالم ولعدة عقود بإيجاد طرق لحل الصراع بين السلامة والرفق بالحيوان.

حيوان. وإجمالا، تترقب البرامج الحالية استخدام مئات الملايين من الحيوانات وعشرات البلايين من الدولارات لتحديد سلامة المواد الموجودة في الأسواق فقط. وفي كل عام تضيف الصناعة إلى قائمة اختراعاتها الآلاف من المواد الكيميائية.

قام باحثان من مجموعتنا [ينتميان إلى جماعة صغيرة من علماء ينتشرون حول العالم في نطاق الصناعة والجامعات والحكومات] بالمطالبة لعقود بإيجاد طرق لحل الصراع بين السلامة والرفق بالحيوان. يوفر لنا برنامج <گور> فرصة لتوضيح تحذيراتنا. وبناء على طلب **حماة البيئة** Environmental Defense، دعا أحد الباحثين [وهو الذي ينتمي إلى مجموعتنا <گولدبيرگ>] باحثين آخرين [من جامعة جون هوپكنز وجامعة كارنيگي وجامعة پيتزبورگ] إلى استقصاء كيف يمكن لبرنامج <گور> أن ينجز أهدافه بأقل عدد من الحيوانات.

كان البرنامج يتضمن جمع أقل كمية ممكنة من المعلومات، تسمى مجموعة مسح بيانات المعلومات التي أوصت بها منظمة التعاون الاقتصادي والتنموي (OECD) لتقييم الخطر الكامن في المواد الكيميائية. تتطلب **حاشدة** battery الاختبارات هذه بشكل نموذجي 430 حيوانا لكل مادة كيميائية. ولحسن الحظ، تقبل المنظمة OECD ـ التي تطالب بتنسيق القواعد العلمية وغيرها لثلاثين بلدا صناعيا، من ضمنها الولايات المتحدة الأمريكية ـ بروتوكولات مبتكرة محددة لحاشدة مجموعة البيانات، والتي تتطلب عددا أقل من الحيوانات. استطاع الخبراء باستخدام إرشادات المنظمة وأيضا باستخدام بعض البروتوكولات المعادة التصميم، استخلاص نتائج متعددة من اختبارات مفردة، وقد بيَّنا أنه يمكن إنقاص عدد الحيوانات نحو 80% ـ أي إلى 86 حيوانا ـ دون فَقْد للمعلومات.

تم الطعن طويلا في الأبحاث المجراة على الحيوانات من قبل ناشطين، وذلك للاعتذار عن هذه الأبحاث، وقد استهزأ بهم

نظرة اجمالية/ علم السموم الجديد(*)

- عادة ما يستهلك اختبار سلامة المواد المنزلية والزراعية وغيرها من المواد الكيميائية كما هي حال المنتجات الطبية ملايين عديدة من الحيوانات كل عام في إعداد البروتوكولات التي غالباً ما تكون مؤلمة جدا.
- الطرائق الجديدة ـ التي تشمل استنبات الخلايا والنسج، وهي تصور غير عدواني أو إحصائيات سهلة ـ والمعاناة المشمولة بها، تقلل كثيرا الحاجة إلى الاختبار على الحيوان.
- علم السموم الجديد هو علم أكثر دقة ويعتمد على أدلة علمية ويمكن له أن يوفر الزمن والمال.

العديد من العلماء وادّعوا أنهم مدفوعون بشعور عاطفي مفرط تجاه الحيوانات، وعلى الرغم من ذلك فقد وجد علم البدائل للاختبار على الحيوان نقطة تلاقٍ ضيقة بين الرفق بالحيوان والعلم الدقيق. يبدل هذا الحقل الطرائق التي يتم فيها تطوير المواد الكيميائية والمنتجات البيولوجية واختبار سلامتها.

اختزال، تحسين، استبدال(**)

تتفاوت المتطلبات المشروعة للاختبارات بشكل كبير حول العالم. ففي الاتحاد الأوروبي، على سبيل المثال، لم يعد بالإمكان منذ عام 2003 بيع أية مادة تجميلية في منتج نهائي أو أي من مكوناتها يجري اختبارها على الحيوانات، في حال وجود بدائل معتمدة. ويجب أن يصبح تحريم إجراء الاختبارات على مكونات المواد التجميلية على الحيوانات مطبقا في عام 2009. وفي المقابل، فإن إدارة الغذاء والدواء الأمريكية (FDA)، التي تنظم المواد التجميلية في الولايات المتحدة الأمريكية، تطلب فقط توافر بيانات سلامة معينة، ويزداد تأكيد هذه المتطلبات بعد تسويق هذه المواد. وبمرور الوقت، طورت إدارة الغذاء والدواء إرشاداتها في التعامل مع الشكاوى المتعلقة بالسلامة؛ يتعلق هذا المطلب، بشكل خاص، **باختبار درايز العيني** Draize eye test المثير للجدل. ويتطلب البروتوكول في هذا الاختبار، وضع المادة في عيون الأرانب البيضاء لقياس التفاعل المحدث.

إن كلا من وكالة حماية البيئة (EPA) ونظرائها الأوروبيين، من جهة أخرى، يحددون المنهج اللازم لتقييم المادة الكيميائية الزراعية. فاختبار مبيد حشري واحد يتطلب سنتين على الأقل ونحو عشرة آلاف حيوان من أنواع مختلفة. يقرر العلماء أولاً فيما إذا كانت المادة الكيميائية تمتص من خلال الجلد، أو أنها يمكن أن تستنشق، أو فيما إذا كانت تترك أثرا في المحاصيل الغذائية، والتي يمكن بذلك أن تدخل الجسم. في كل من هذه المسالك، هناك حاجة إلى الإجابة عن أسئلة مختلفة ـ على سبيل المثال: الفترة التي يمكن أن يتعرض لها أحد الأشخاص، ما هي كمية المادة التي يمكن أن يمتصها الجسم، وكيف يمكن لها أن تتوزع فيه، وذلك لأجل كل فرد وفي أعمار مختلفة، بما في ذلك الأجنَّة.

إذا لم يدخل المُنتج إلى المجرى الدموي، يتجه قلق الباحثين فقط نحو عواقب التطبيق الموضعي للمادة الكيميائية. أما إذا كان المركّب يمكن امتصاصه إلى المجرى الدموي، عندها يجب

(*) Overview/ The New Toxicology
(**) Reduction, Refinement, Replacement

(البدائل) علم جديد ينضج(*)

اختبارات السلامة التقليدية	البدائل
حركية السم toxicokinetic تقيس امتصاص وتوزع واستقلاب وإطراح المادة الكيميائية. تُغذّى الحيوانات بالمادة الكيميائية التي تُجمع منها عينات الدم والبول والبراز؛ وبعدها تقتل الحيوانات لإيجاد 100% من المركب الأصل ومستقلباته في أعضاء الأجهزة في الجسم.	استبدلت الصناعة الاختبارات جزئيًا بتجارب في المختبر وفي السيليكون. وافقت المنظمة OECD على المقاربة **في المختبر** *in vitro* من أجل الامتصاص الجلدي.
علم السموم الموضعي topical toxicology يُقيِّم تأثيرات المادة الكيميائية في الجلد والعيون، وأحيانا في الأغشية المخاطية الفموية المهبلية. يوضع المركب على الغشاء ثم يُفحص الاحمرار والتقرح والتآكل.	قبلت المنظمة OECD ببدائل لأجل التآكل والسمية الضوئية والتحسس؛ وهناك تقدم في دراسات المصادقة من المركز الأوروبي ECVAM من أجل التهاب الجلد والعين والتفاعلات الأرجية والسمية الضوئية.
السمية المجموعية أو الجملية الحادة acut systemic toxicity تحدد تأثيرات تناول مادة لمرة واحدة أو لعدة مرات خلال 24 ساعة، مع توالي القياس خلال 14 يوما. وتشمل الجرعة المميتة الكلاسيكية لنصف حيوانات التجربة LD_{50} تقديم جرعات مختلفة من المادة لست أو سبع مجموعات من الحيوانات لتحديد الجرعة المتوسطة اللازمة لقتل نصف حيوانات المجموعة. إنها تتطلب بشكل نمطي 140 حيوانا.	برهنت منظمة التعاون الاقتصادي والتنموي OECD على استراتيجية الحاجة إلى ستة عشر حيوانا في المتوسط؛ يطور المركز ECVAM استراتيجية لا يُستعمل فيها أي حيوان. تفحص اللجنة ICVAM والمركز ECVAM سوية المقاربة في المختبر لتحديد الجرعة الأولية لدراسة الجرعة المميتة LD_{50}، لنصف حيوانات التجربة التي يمكن أن تختزل عدد الحيوانات إلى ستة لكل مادة كيميائية.
سمية تكرار الجرعة والسمية المزمنة repeat Dose/ chronic toxicity هي اختبارات تقيس قصور عضو الجهاز عن إنجاز وظيفته الطبيعية تحت التأثير المستمر لمادة كيميائية. وهناك العديد من الطرائق المطبقة على الحيوان هي قيد الاستعمال؛ إنها تتطلب تقديم جرعات إضافية عديدة إلى العضوية وتقييم الحصيلة.	لم يُصادق رسميا على أي اختبار. تتضمن المقاربات المستعملة قياس وظائف خلوية معينة وحصيلة جينات كثيرة، وكذلك دراسات نوعية مؤذية للحيوان، متضمنة التصوير MRI والمسح الطبقي المحوري (PET) و**الفوتونات الحيوية** biophotonics.
السمية على التنامي والسمية على التكاثر developmental/ reproduction toxicity تقيس تأثيرات التعرض للمادة الكيميائية في النطاف وفي البيوض، وفي تطور الأجنة وقابلية الإنجاب، وكذلك أية تأثيرات متأخرة بعد البلوغ. عولجت إناث حيوانات بمركَّب، وقيست حصيلة التوالد. وتقيس اختبارات مشابهة على الذكور صحة الذكر التوالدية.	تطبق في الصناعة دراسات غير مؤذية على حيوانات كاملة، وهناك كثير من المقاربات في المختبر. صادق المركز ECVAM على ثلاث طرائق لسمية الأجنة؛ وهناك طرق أخرى الآن في طور ما قبل المصادقة.
العوامل المسرطنة / العوامل المطفرة carcinogenensis/ mutagenensis تقيس دراسات إمكان مركب ما لإنتاج أورام. نظريا تُعرض الحيوانات طوال حياتها للمركب، وتُقوَّم الأورام الناتجة؛ وفي الواقع إن الدراسات على الحيوانات نادرة بسبب تكلفتها العالية.	وهناك العديد من المختبرات تستعمل **مقايسات أيمز للطفرات البكتيرية** Ames Bacterial Mutagenesis Assay وغيرها من الاختبارات في المختبر، التي تراقب التطفير في البكتيرات أو في الخلية. ومازال هناك العديد من دراسات مصادقة المركز ECVAM في طريقه للإنجاز.
علم السموم البيئي ecotoxicology يقيس التأثيرات البيئية للمادة الكيميائية. ولكونها حديثة نسبيا، بدأت هذه الدراسات باستعمال "بدائل" أهداف، مثل الأسماك والطحالب وبراغيث الماء.	قبلت كل من ألمانيا والسويد اختبار بيض السمك لأجل **الدفق** effluent؛ وصادق المركز ECVAM على استراتيجية لاختزال استخدام الأسماك إلى 60%.
الاختبارات البيولوجية biological testins تقيس نوعية اللقاحات وغيرها من الأدوية ذات المنشأ البيولوجي وتتحرى عن التلوث بوساطة ذيفانات البكتيرات المسببة للحمى (البيروجينات pyrogens). عادة ما يعطى اللقاح أو الدواء إلى مجموعة من الحيوانات، ويُدخل المرض المستهدف إلى هذه المجموعة وإلى مجموعة غيرها، غير محصنة، لمقارنة المرض الناتج.	ويستعمل لأجل البيروجينات اختبار دم واحد (ALA)، وتنجز مصادقة مقايسة جديدة للسيتوكين cytokine. وقام المركز ECVAM بمصادقة تقانات إحصائية لإنقاص عدد الحيوانات ولتحسين درجة إنقاص المعاناة خلال فترة اختبار اللقاح.

OECD = منظمة التعاون الاقتصادي والتنموي
ECVAM = المركز الأوروبي للمصادقة على الطرائق البديلة
ICCVAM = لجنة تنسيق بين الوكالات للمصادقة على الطرائق البديلة

(*) A Fledgling Science Matures

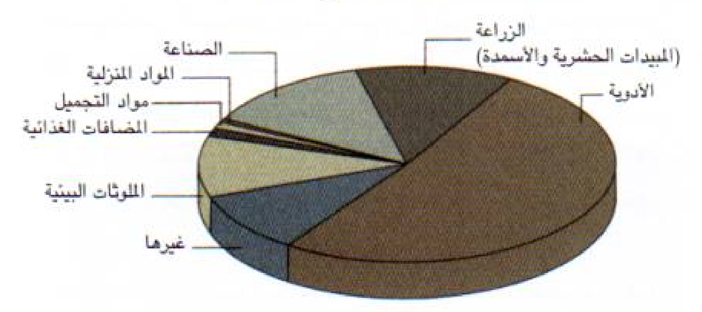
فحص آثاره وآثار كافة مستقلباته في الأعضاء المختلفة. في الإجراء المعياري يقوم الباحثون بإطعام المادة للجرذان وللفئران وللكلاب أو لأي حيوان ثديي آخر طوال فترة حياته، ويُراقب حدوث خلل في العمل الوظيفي لأعضاء مختلفة أو تَشَكُّل السرطانات وغيرها من الاعتلالات في الجسم. كما أنهم يلاحظون مجموعة أنسال هذه الحيوانات طوال حياتها. يمكن إدراج اختبارات أكثر استهدافا في هذا النظام أو يمكن إجراؤها بشكل منفصل.

وفي الحقيقة، لقد كشف ممثلونش أو مندوبون من تسع شركات متعددة الجنسيات لـ <كولدبيرك> عن أن جميع الشركات تستعمل الاختبارات على أطباق البتري (أطباق دائرية صغيرة تستخدم لزرع الجراثيم) أو على حيوانات غير ثديية، عادة ما تشمل الأسماك أوالديدان، ليقرروا فيما إذا كانت المادة الكيميائية آمنة بشكل كافٍ لإنتاجها. عندها فقط يقومون بإنجاز الدراسات ـ الإطعام طوال الحياة ـ وذلك لإرضاء المحامين لدى الشركات والوكالات النظامية. يبين الجدول في *الصفحة المقابلة* الحاشدةَ الكاملة للاختبارات على الحيوانات المتطلبة بشكل عام لتقييم سلامة المادة الكيميائية أو الدواء. يُطالب المنظمون الحكوميون، بشدة نوعا ما، بإجراء اختبارات تقليدية على الحيوانات لأن بعضا من أفضل البدائل يُعد أسرارا صناعية، وأيضا لأنهم يثقون بالاختبارات على الحيوانات، التي قامت، بشكل كبير، بوقاية العامة في الماضي.

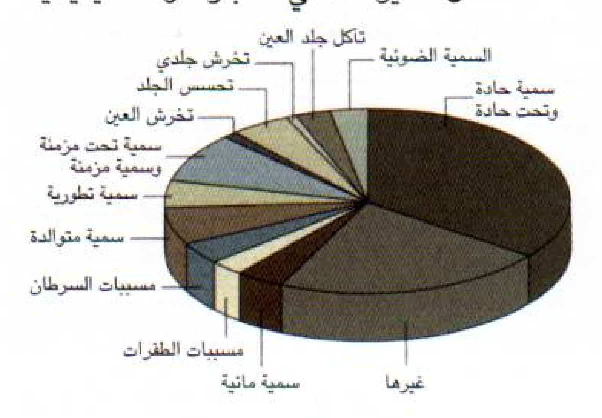
وفي الفترة الأخيرة فقط صار المنظمون أكثر انفتاحا لاحترام البدائل. ويعود تاريخ مفهوم البدائل إلى عام 1959، عندما قرر <W. روسيل> و <R. بورش> [من **اتحاد الرفق بالحيوان** Animal Welfare في جامعات المملكة المتحدة] اعتماد «**ثلاثية RS**» three ـ الاختزال، التحسين، الاستبدال ـ بمعنى اختزال معاناة الحيوانات المرافقة لكثير من الدراسات. ولا يمكن للبدائل أن تكون مناسبة تماما تجاه واحد أو أكثر من ثلاثية Rs، ولكنها تبقى دلائل مفيدة.

يعني **الاختزال (الإنقاص)** reduction تصميم تجارب تمكِّن من إعطاء معلومات كافية بأقل عدد من الحيوانات. على سبيل المثال، تقاس اختبارات السمية الجهازية الحادة العواقب، كما لوحظ خلال 14 يوما، بإعطاء المادة مرة واحدة إلى عدة مرات خلال 24 ساعة. لقد كان القياس الأكثر قبولا للسمية الحادة هو الجرعة المميتة لنصف حيوانات التجربة، أو ما يسمى LD_{50}: وهي كمية المادة اللازمة لقتل نصف حيوانات الاختبار. ولتحديد الجرعة المميتة، يقوم المجربون بحقن أو بإطعام كمية محددة مسبقا من المادة الكيميائية لكل حيوان في مجموعة مكونة من 10 حيوانات ذكور و10 حيوانات إناث. وباستخدام ست أو سبع مجموعات متشابهة، تعطى كل منها جرعة مختلفة، ثم يتم إحصاء الحيوانات النافقة.

استعمال الحيوانات في اختبار المنتجات



استعمال الحيوانات في اختبار المواد الكيميائية



يتغير عدد الحيوانات اللازمة لأجل غايات اختبار مختلفة بشكل واسع. وبشكل غير دقيق فإن نصف الحيوانات المستخدمة في اختبار المنتج يكون لأجل مراقبة نوعية المنتجات الطبية مثل اللقاحات (*المخطط في الأعلى*). وتحديد سمية المادة الكيميائية (*المخطط في الأسفل*) يتطلب عددا كبيرا من الاختبارات العالية النوعية، ومنها السمية الحادة ـ الناتجة من التناول العرضي لكمية كبيرة من المادة ـ التي تستهلك نسبة مرتفعة من الحيوانات. إن البيانات في كلا المخططين تخص الخمس عشرة دولة الاعضاء في المفوضية الأوروبية لعام 2002، التي استعملت 10.7 مليون حيوان في ذلك العام. ولا تتوافر تحاليل مشابهة في الولايات المتحدة الأمريكية.

يأتي المجربون تدريجيا لمشاهدة نتائج هذا الاختبار (عذرا عن التلاعب بالألفاظ) حتى يتم قتل جميع الحيوانات وإرضاء المزيد من البروتوكولات العصرية. ومنذ عام 1989 سمحت إحصائية معقولة بالحصول على الجرعة LD_{50} باستخدام 45 حيوانا، والآن تقبل المنظمة OECD بالبروتوكول الذي يقيس الجرعة المميتة باستخدام 16 حيوانا في المتوسط. وهناك دراسة انتهت مؤخرا عبر المحيط تعدُ بمزيد من الاختزال لعدد حيوانات التجربة إلى نحو ستة حيوانات لكل مادة.

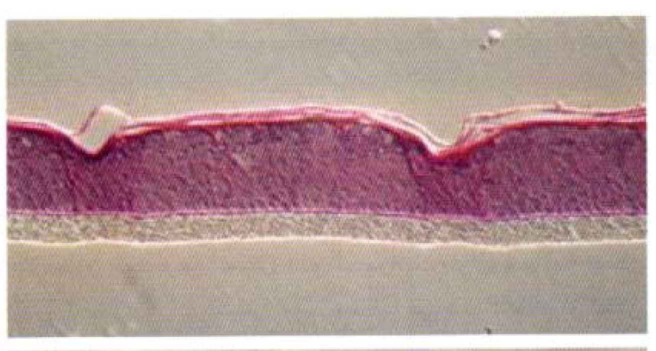
وفي مثال آخر، يمكن أن تكشف تقانات التصوير غير المؤذية والمألوفة في الطب السريري ـ أشعة أكس x-rays، **الرنين النووي المغنطيسي** nuclear magnetic resonance **والإصدار البوزيتروني المقطعي** positron-emission tomography ـ عن الفوارق الكبيرة بين حالات طبيعية وحالات مصابة من أعضاء الحيوان. وهذه التقانات تسمح للباحثين بمتابعة حيوان

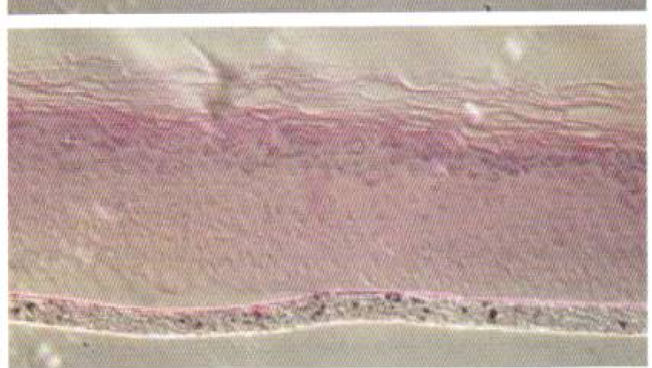
مفرد خلال دورة التجربة كبديل للإجراء التقليدي: مبتدئين بمجموعة من الحيوانات وبقتل حيوان واحد من كل مجموعة في كل مرحلة لتحديد حالة الكبد. ويسمح مثل هذا التصوير بمراقبةٍ أفضل للبيانات ويختزل أيضا الحيوانات المستخدمة في مثل هذه الاختبارات بنسبة تصل إلى 80%.

وثمة المزيد من أنواع التصوير المستقبلية، **الفوتوني الحيوي** biophotonics، المُطورة من قبل كل من <R. P.> كنتاك> و <H. Ch.> كنتاك> [من جامعة ساندفورد]، تصبح أكثر إتقانا في عالم التحسين: تصميم تجارب تتطلب معاناة أقل للحيوانات. لقد أضاف الباحثون جينة (مورِّثة) **لإنزيم اللوسيفيراز** luciferase enzyme، على سبيل المثال، إلى خلية سرطانية وأُدخلت الخلية إلى الحيوان. يمنح الإنزيم القابلية لإنتاج «يراعة» ضوء، مؤكدين أن الخلية السرطانية وجميع بناتها تتوهج. ويتم قياسها بسهولة بمعدات خاصة، حيث تسمح الفوتونات للباحثين بمراقبة النمو السرطاني تحت تأثير مادة كيميائية وعوامل صيدلانية مختلفة - وتشخيصه المبكر قبل أن تطور الحيوانات أوراما قابلة للجس. يزيل هذا الإجراء الألم والإزعاج حقا، ويمكن أن يتم تبنيه لدراسة تنوع واسع من الأمراض في مراحلها الأولية.

ثمه تقنية تحسين قيمة أخرى، مفيدة بشكل خاص في اختبار اللقاح، متضمنة تحديد «**نقطة للشفقة أو الرحمة الحدية**» humane end point، وبذلك تُنهى الدراسة المؤلمة حالما يتم جمع البيانات المرتبطة بها. على سبيل المثال، إذا انخفضت حرارة جسم الحيوان تحت نقطة معينة، فإنها لا تعوض: عندها يمكن إيقاف الاختبار بدون ضياع للبيانات لإبقاء المخلوق على قيد الحياة على طول الجرعات. إذا لقح حيوان ضد داء الكلب وأعدي (خُمج) هذا الحيوان بالڤيروس يبدأ بالدوران، والذي هو علامة أكيدة على فشل اللقاح، ويمكن من حيث الرفق بالحيوان قتله، أو تركه لساعات يصارع الموت. والأفضل بشكل أكيد، في هذه الأيام قيام التقنيين باختبار فعالية العديد من اللقاحات فقط بفحص مستوى **الأضداد** antibodies بعد إعداء (إخماج) الحيوان، بدلا من انتظار ظهور علامات صريحة للمرض. ويتضمن التحسين أيضا استخدام الأدوية والمخدرات لتخفيف الألم والضائقة.

حتى الآن يمكن لصنف آخر من التحسين أن يستعمل أنواعا أدنى في السلم التطوري كبدائل، اعتقادا بأنها ستكون أقل معاناة. فخلال السنوات القليلة الماضية، أصبحت **أسماك الزرد** zebra fish والديدان المسماة *Caenorhabditis elegans* شائعة لملاحظة تنامي الجهاز العصبي تحت تأثير الكيميائيات. وفي كل من هذين النوعين، أثبت العلماء وظيفة جميع الجينات الأولية: إذا سببت مادة كيميائية تنشيط الجينة أو تثبيطها، فإنه يعلم الباحثون أثر التبدل في إنتاج البروتينات والاستقلاب





يمكن أن يُعوض الجلد الصنعي مكان الجلد المحلوق من ظهر الأرانب الحية في اختبارات التآكل للمواد المختلفة. وهذا «الجلد» التجاري أخضع للماء (*في الأعلى*) وللقلوي (*في الأسفل*) لثلاث دقائق.

الخلوي. وببساطة فإن تأثير المادة الكيميائية في عدد كبير من الجينات (بوصة واحدة إلى اثنتين من الشيپات الخاصة بسمك الزرد تحتوي على 9000 جينة) يسمح للباحثين بمعرفة أي جينة قامت المادة الكيميائية بتنشيطها.

والأحدث من ذلك، بدأت بعض الشركات باستعمال شيپات من الجينات البشرية، متضمنة تلك التي تخص جينات، يعتقد بأنها تضبط الاستجابة الخلوية السمية تمثل هذه التقنية، التي ستصل إلى الذروة في المستقبل - لأن فهم رسالة الشيپة يبقى تحديا كبيرا - لمعظم مميزات الاستبدال.

البديل الثالث(*)

الاستبدال يعني التخلص الكلي من استخدام كامل الحيوانات في الاختبار. وتدين معظم أمثال هذه البدائل بوجودها إلى التقدم المجتمعي الهائل نحو تقانات رخيصة، سريعة وفعالة، أكثر من البحث عن الرفق بالحيوان في الجوهر. على سبيل المثال، معظم تحاليل الهرمونات - مثل اختبار الحمل، التي اعتمدت في السابق على طرائق عافها الزمن مستخدمة حيوانات حية - تُنجز اليوم بوسائل بديلة (مادة كيميائية أو مناعية).

ومن الأمثلة المبكرة للاستبدال، كان الاكتشاف الاتفاقي في السبعينات لاختبار بديل عن اختبار المحميات (البيروجينات) من قبل <H.> فاكنر> [من جامعة جون هوپكنز]. ويجرى هذا الاختبار

(*) The Third R

ربما تكون البدائل النهائية «في السيليكون»؛ أي نماذج حاسوبية لجمل أعضاء متآثرة من أجل تقفي فعل الأدوية.

لفحص ملوثات بكتيرية مسببة للحمى بوساطة حقن مادة في أرانب وأخذ درجة حرارتها بعد 24 ساعة. استخدم <فاگنر> نظائر مشعة قصيرة العمر جدا تستعمل كوسيلة لتصوير تشخيصي عند الإنسان، وثمة ضرورة لتأكيد خلوها من التوكسينات (الذيفانات) البكتيرية ـ ولكن النظائر المشعة تصبح غير فعالة بمرور الزمن اللازم للاختبار على الأرنب الذي يزودنا بالنتائج. عَرف <فاگنر> أن <F. بانگ> [في جامعة جون هوپكنز أيضا] أظهر أن الدم اللمفي (الدم بشكل خاص) في سرطان نعل الفرس يتفاعل مع معظم التوكسينات البكتيرية بطريقة قابلة للتنبؤ والقياس. منحت وكالة الغذاء والدواء الأمريكية FDA الإذن سريعا لاستعمال هذا الاختبار على السرطان المسمى Limulu amebocyte lysate، أو LAL للكشف عن البيروجينات.

أكثر حداثة، كَشف <A. فيندل> [من جامعة كونستانس Constance بألمانيا] وأحد باحثينا (هارتونگ) عن أنه يمكن التحري عن الذيفانات البكتيرية بخواصها المحرضة لكريات الدم البيضاء في الدم البشري لتحرير البروتينات المسماة السيتوكينات، والتي يقوم بعضها بالإشارة إلى الدماغ لإحداث الحمى. هذا التحري البسيط عن السيتوكينات في الدم البشري يظهر وجود جميع الذيفانات ذات العلاقة، متجاوزا العديد من القيود للاختبار LAL.

لقد تركز إيجاد بدائل معينة للاختبارات (مثل **اختبار درايز** Draize test، المؤلم جدا للأرانب، لأن العين من الأعضاء الحساسة) على السعي للرفق بالحيوان. وقبل عقد من الزمن بدأ بعض العلماء بإنجاز الاختبار على كرات عين طازجة من المسالخ بدلا من التطبيق على الأرانب الحية. وعلى الرغم من تحسين طرائق التخدير، فإن البدائل أزالت الألم أيضا وذلك بالحد من استخدام المزيد من الحيوانات. وفي ألمانيا، غالبا ما يستخدم الغشاء الرقيق الذي يفصل مح البيض عن الآح كبديل عن القرنية في هذه الاختبارات.

في الثمانينات مَول مركز جون هوپكنز لأجل البدائل عن الاختبار على الحيوان الذي أداره <گولدبيرگ>، بحثا يتعلق بكيفية تقييم تأثير كيميائيات مختلفة في زراعات نسيجية ثنائية البعد من خلايا القرنية البشرية. (حملة مبكرة ضد اختبار درايز لمجموعة الأرانب، قادتها رابطة مواد التجميل ومساحيق الزينة والمعطرات لإيجاد المركز، وهو قسم من مدرسة بلومبيرگ). واعتمادا على جزء من هذه الدراسات، ينتج العديد من الشركات اليوم نسجا ثلاثية الأبعاد تحاكي بدقة السطحَ الخارجي للعين البشرية ـ سامحة بذلك للمجربين بتحري ليس

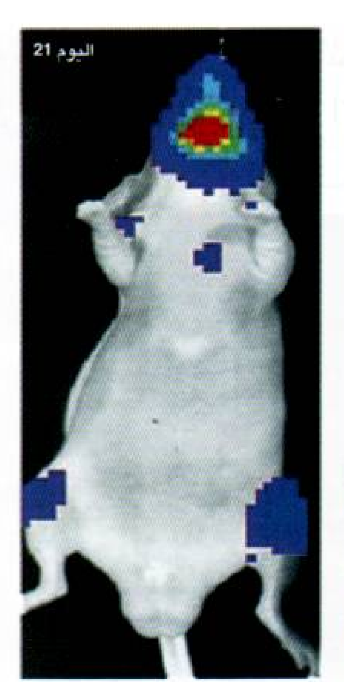


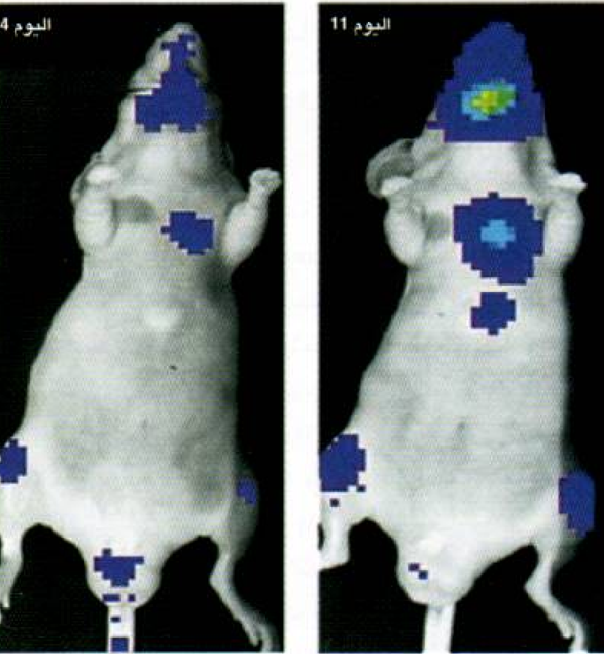
تحرر كريات الدم البيضاء بروتينات تدعى السيتوكينات cytokines بوجود البكتيرات المسببة للحمى. والاختبار البسيط لكشف السيتوكينات في دم المرضى يسمح بالكشف عن مثل هذه البكتيرات «البيروجينية»، مستبدلين الاختبار على الأرنب والبدائل الأقدم.

فقط التهيج ولكن أيضا التغيرات البنيوية الدقيقة.

في الواقع، يمكن للباحثين حاليا القيام باستنبات أنواع كثيرة من الخلايا البشرية من الجلد والرئة والعين والعضلات والأغشية المخاطية وغيرها من الأعضاء. حتى أن الأكثر إثارة إمكان إعادة بنيان النسج ـ تراكيب ثلاثية الأبعاد لخلايا خاصة مستنبتة على جملة داعمة. إضافة إلى العين، فقد جرت زراعة نسج صنعية تحاكي الجلد والرئة والسبيل المعدي المعوي وبطانات الفم والمهبل. لقد تم تبني ذلك في الصناعة بشكل واسع، واستعملت بديلا عن الحيوانات في عدد كبير من الاختبارات (مع ذلك، بقيت الحاجة بشكل عملي إلى مستنبتات ثلاثية الأبعاد لأعضاء مثل الكبد).

من الأهمية بمكان اغتنام الفرصة التي تتيحها الزراعات النسيجية والخلوية للباحثين لفهم الآلية البيولوجية لتأثير المادة الكيميائية، بصورة لم تكن ممكنة قط باستخدام كامل الحيوان. حاليا يمكن للمستقصين إيجاد طريقة **في المختبر (في الزجاج)** in vitro لإطلاق سلسلة من العمليات الكيميائية الحيوية بوساطة المادة الكيميائية. وفي المستقبل، يمكن أن تسمح مثل هذه الدراسات للعلماء بالتنبؤ بالنتائج الوظيفية ـ مثل تبدلات الجينات وتغيرات نمو الخلية، وغيرها ـ الناجمة عن تعرض الخلية في الجسم البشري لمادة كيميائية. والأبعد من ذلك، يمكن أن تحاكي نسج عديدة مستنبتة في حجرة مفردة (جملة طورت أخيرا بوساطة بحث AP في بالتيمور)





الفوتونات الحيوية biophotonics: إن استخدام فوتونات الضوء لكشف التغيرات البيولوجية وقياسها في الحيوانات الحية، يظهر تقدم السرطان في الفأر. يصبح السرطان مرئياً (*المساحات الملونة*) قبل مدة طويلة من أن يتطور في الحيوان ورم قابل للجس (غير مرئي). مثل هذه التقنيات تمكن الباحثين من القيام بفحص التأثيرات التجريبية للأدوية بطرائق رحيمة.

معقد التأثرات كاستحالة مادة كيميائية إلى أخرى بوساطة الفعالية الاستقلابية للعضو، والتي يمكن أن تؤثر بالتالي في أعضاء أخرى. هذه التطورات، وإن تكن في مراحل نموها الأولى، لها الفضل في التخلي عن الحيوانات في دراسات **الديناميكية (الحركية) السمية** toxicodynamics: سلسلة الحوادث التي بوساطتها تنتشر المادة الكيميائية وتُستقلب وتُطرح.

ربما لا تكون البدائل النهائية في المختبر كما هي «في السيليكون»: بدأت الصناعة الصيدلانية باستعمال نماذج حاسوبية لجملة أعضاء متأثرة لدراسة مفعول الأدوية. يفتقد كل من <Ch. دي لي زي> [من جامعة بوسطن] وغيره، الدعم لأجل مشروع الإنسان الافتراضي، مغامرة مستقبلية في الحوسبة المنتشرة أو التوزيعية بشكل مشابه لمشروع الجينوم البشري. يمكن للإنسان الافتراضي أن يحاكي في المستقبل الاستجابة البشرية لوطأة الضغوط البيولوجية، والفيزيائية والكيميائية، متجنبين الحاجة إلى دراسات على الحيوانات.

شكوك مقنعة(*)

من ناحية أخرى، يبقى حاليا اكتشاف بدائل جديدة عملية غير محددة. إن عملية إيجاد رؤوس الأموال من أجل الأبحاث المنفَّذة بشكل خاص على البدائل هو أمر صعب، على الأقل في الولايات المتحدة الأمريكية. فبرنامج علم السموم الوطني، الذي ينسق جميع برامج اختبارات السمية في الحكومة الفدرالية مع المعاهد الوطنية لعلوم الصحة البيئية، يُعدّ ميزانية الحكومة لدعم البدائل. وعلى الرغم من كون الوكالات الحكومية في الولايات المتحدة الأمريكية مهتمة بالعلوم البشرية، فقد أنفقت أقل من 10 ملايين دولار خلال العقد الماضي للمصادقة على البدائل من أجل الاستعمال المنتظم. وفي المقابل، أنفق الاتحاد الأوروبي أكثر من 300 مليون دولار في الفترة نفسها على طرائق بديلة وعلى دراسات المصادقة، وقد استثمر أعضاء حكومات الاتحاد الأوروبي بشكل مستقل الملايين ـ ألمانيا لوحدها تجاوزت 100 مليون دولار ـ في البحث عن البدائل. (مع ذلك، يتعين على كل من الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد الأوروبي إنفاق عدة ملايين عديدة من الدولارات على الأبحاث التي قد تقود يوما ما إلى البدائل).

يجب أن يتم التحقق من فعالية أي بديل جديد قبل أن تقبل به الوكالات النظامية. وفي الولايات المتحدة الأمريكية شُكِّلت لجنة للتنسيق بين الوكالات للمصادقة على الطرائق البديلة وهي Interagency Coordinating Comitee on the Validation of Alternative Methods (ICCVAM) ضمَّت مندوبين أو ممثلين عن 15 وكالة، عينت هيئات المستشارين من الخبراء المستقلين لمراجعة الأدبيات المتوافرة، متضمنة البروتوكولات المرسلة بوساطة الشركات، لتقيِّم مصداقية الاختبار. واعتمادا على تفويضهم المنتظم، تقرر كل وكالة عندئذ بشكل مستقل فيما إذا كانت تقبل الاختبار أو لا. منذ البداية في عام 1997، تم تقييم 16 طريقة بديلة، ست منها تم تبنيها بوساطة السلطات النظامية، في حين تكلفت الأخرى إجراء التحسينات اللازمة. وفي الماضي، كان الاختبار المبرهن عليه يتطلب عقدا من الزمن أو أكثر ليصبح قابلا للتبني، ولكن منذ تشكيل

(*) Convincing Sheptics

اللجنة ICCVAM تم اختزال هذا التأخير بشكل كبير.

بداية وفي أوروبا كانت مصادقة البدائل مشابهة في مفهومها وتعقيداتها للتجارب السريرية (الإكلينيكية). وفقط لكون التجارب السريرية شاهدا معتمدا وتحتاج إلى شرح دقيق (صارم) على أن الدواء فعال، يجب على تجارب **المصداقية** validation أن تبرهن على أن الاختبار البديل يؤدي عمله الذي صُمِّم من أجله. لقد اكتسب مفهوم المصداقية العلمية إجماعا عالميا واسعا في ورشة عمل المنظمة OECD بسولنا/ السويد، في عام 1996. واستنادا إلى ما يسمى مبادئ سولنا، اعتمد المركز الأوروبي لمصادقة الطرائق البديلة (المركز ECVAM وكذلك اللجنة ICCVAM) مجموعة دراسات «ما قبل المصادقة» لتقييم فعالية البدائل وتسوية خلافات الخلل في بروتوكولاتها. في أوروبا، إذا نجح الاختبار، عادة ما يوجه المركز ECVAM لاعتماده في العديد من المختبرات في دول مختلفة، كل منها يتناول مجموعة كبيرة من المواد المكودة لاختبار البديل. وغالبا ما تقيم المختبرات في وقت واحد العديد من فعاليات البدائل للاختبار المعطى على الحيوانات. ويحكم كيان مكون من نحو 35 عالما يمثلون دول الاتحاد الأعضاء الـ25 من المفوضية الأوروبية واتحاد الأكاديميين والصناعة ومجموعات الرفق بالحيوان، على نتائج التجارب؛ وتحضر اللجنة ICCVAM كمراقب. وإذا ما بَرْهَن بديل ما على أنه معيار معول عليه للخواص ذات الصلة بهذه المواد وأن نتائجه متماسكة وقابلة للتكرار في المختبرات، تعلن اللجنة رسميا المصادقة عليه.

وفي تجارب المصادقة الأخيرة، على سبيل المثال، احتاجت عشرة مختبرات إلى ثلاث سنوات لدراسة ستة بدائل لاختبار المحميات (البيروجينات)، لتحري قابليتها في إيجاد المواد المسببة للحمى من 190 عينة غير مسوقة. وصلت خمسة اختبارات إلى مرحلة المراجعة، وهي حاليا قيد التحرير للتطبيق. ومنذ بداية تأسيسه في عام 1991، صادق المركز ECVAM تماما على 17 بديلا؛ تسعة بدائل إضافية هي في المرحلة الأخيرة من المراجعة؛ و25 بديلا آخر قيد التجارب أو التحاليل الأخيرة، ويجب على البديل أن يستعمل في أوروبا فور المصادقة عليه وفق القانون، ولكن عمليا فإن تأخير استعماله لعدة سنوات مازال شائعا. وعندما يصبح المنظمون الأوروبيون أكثر اعتيادا على الطرائق الجديدة فإنهم سوف يتقبلونها بسرعة أكبر.

في أوائل التسعينات واجهت محاولات البدائل عقبات كبيرة عندما فشلت ست تجارب مصادقة كبيرة لبدائل اختبار عين درايز. وكانت الحصيلة مربكة، حيث إن بعض البدائل استُعْمِلت في صناعة المواد التجميلية بدون مشكلات واضحة. وبمراجعة بيانات أخرى، نفهم الآن لماذا تفشل البدائل: تمت مقارنة نتائج البدائل بتلك النتائج الخاصة باختبار درايز نفسه، الذي أعطى العديد من الإيجابيات الخاطئة. يقوم حاليا كل من اللجنة ICCVAM والمركز ECVAM مجتمعين بمراجعة المعلومات المتوافرة عن اختبار درايز وبدائله. يمكن أن تشكل الدراسة أساسا لعبارة المصداقية أو، إذا كان ضروريا، لتجربة مصادقة أخرى لبدائل درايز، وفي هذا الوقت نحن واثقون من تحقيق النجاح.

بعد إخفاق حملة <كور> الانتخابية واشتداد حمية الانتقاد لمشروع الأرانب، أدى الأمر إلى مجازة مناسبة: قيام أعداء الحيوانات المحتملين أو المفترضين بالعمل على إنقاذها. يمكن للبدائل المستنبطة بوساطة العلم، إذا نفذت كاملة، أن تنقص استخدام الحيوانات بشكل كبير. وقد اتفق تقييم كل من الأكاديميات والصناعة، على سبيل المثال، على أنه يمكن للبدائل الموجودة خفض عدد الحيوانات التي يحتاج إليها البرنامج REACH الأوروبي إلى 70%، وينطبق الأمر ذاته على الأرجح على قائمة أفضلية EPA. والأكثر واقعيةً، يمكن للبدائل حفظ الملايين وربما البلايين من الدولارات واختصار السنوات، إذا لم تكن العقود منها، من جداول برامج الاختبارات! وبينما يقدم إلينا المزيد من البيانات الدقيقة والوثيقة الصلة بالموضوع يستطيع العلم الجديد عندئذ أن يحمي بصورة أفضل ليس فقط المخلوقات التي وجدت للمساعدة ولكن أيضا البقية منا نحن البشر. ■

المؤلفان

Alan M. Goldberg - Thomas Hartung

عالمان بالسموم، تأثرا بمعاناة الحيوان ودافعا عن الحاجة إلى البدائل. حصل <كولدبيرك> على الدكتوراه في علم الأدوية من جامعة مينيسوتا، وهو أستاذ علم السموم في جامعة جونز هوپكنز، حيث يدير مركزًا للبدائل عن اختبار الحيوان. قام بتأليف سلسلة كتب عن ***الطرائق البديلة في علم السموم*** *Alternative Methods in Toxicology، كما عمل لدى العديد من الحكومات وغيرها من اللجان، ومنح عدة جوائز، آخرها من جمعية علم السموم. ومن جهته، حصل <هارتونك> على الدكتوراه في الكيمياء الحيوية للدوائيات من جامعة كونستانس بألمانيا وعلى شهادة اختصاص عليا في علم السموم من جامعة توبنگن، وعمل رئيسا تنفيذيا لمركز Steinbeis Technology Transfer Center ويشغل حاليا منصب رئيس المركز الأوروبي للمصادقة على طرائق البدائل. ولـ<كولدبيرك> ترتيبات استشارية مع Xenogen Reduction Corporation في California ،Almeda؛ وتم ترخيص بديل <هارتونك> لمقايسة البيروجينات من قبل مجموعة غير ربحية لمختبرات Charles River Laboratories بمقاطعة ماساتشوتس.*

مراجع للاستزادة

Animals and Alternatives in Testing: History, Science, and Ethics. Joanne Zurlo, Deborah Rudacille and Alan M. Goldberg. Mary Ann Liebert, 1994.

Trends in Animal Research. Madhusree Mukerjee in *Scientific American*, Vol. 276, No. 2, pages 86–93; February 1997.

To 3R Is Humane. Alan M. Goldberg and Paul A. Locke in *Environmental Forum*, pages 19–26; July/August 2004.

Altweb: **Alternatives to Animal Testing: http://altweb.jhsph.edu**

European Center for the Validation of Alternative Methods: **http://ecvam.jrc.cec.eu.int/index.htm**

Scientific American, January 2006

المصادر الخفية لألسنة اللهب الشمسية(*)

بدأت الأرصاد الحديثة تكشف النقاب عن مسببات الانفجارات الهائلة في جو الشمس[1].

<D .G. هولمان>

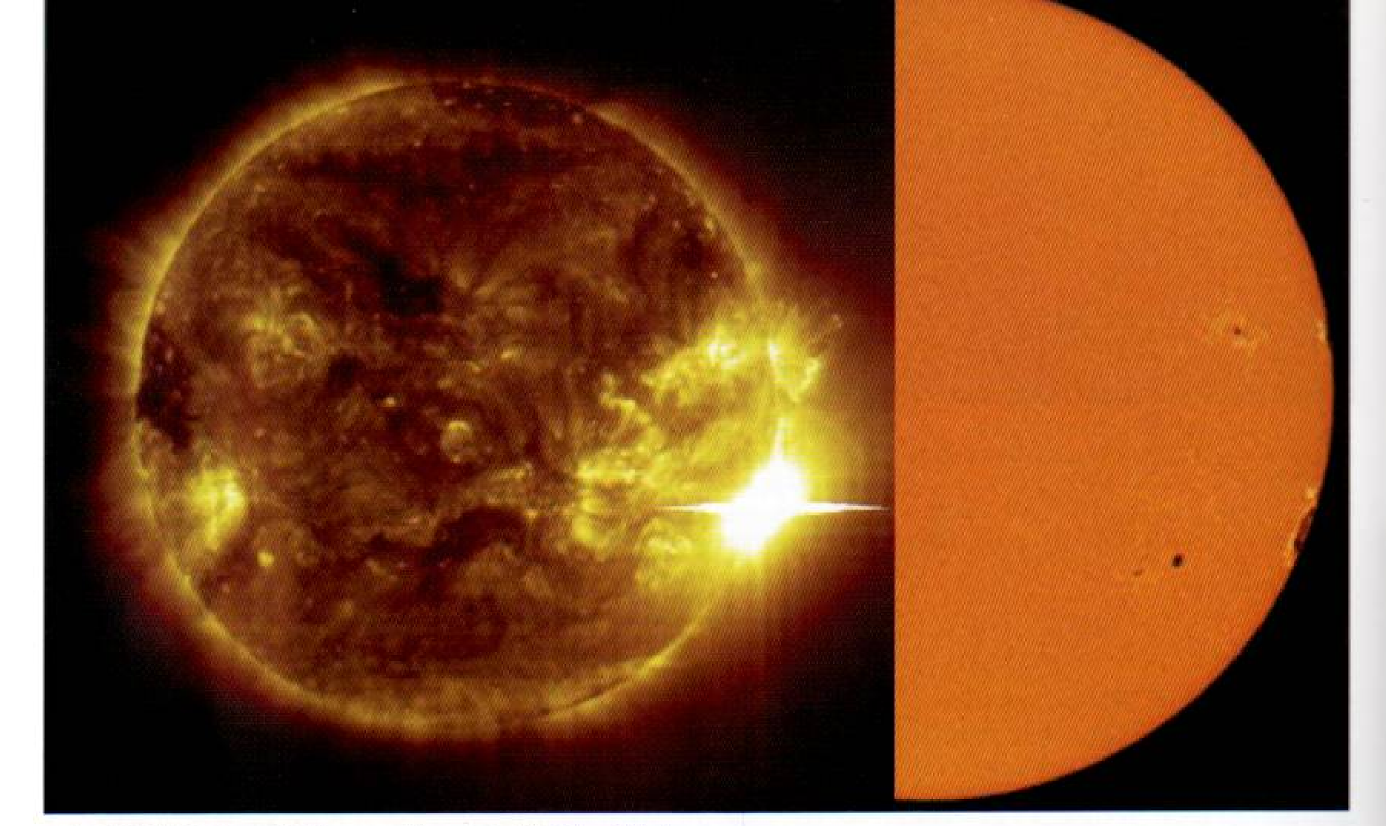
تطلق الانفجارات المفاجئة في الغلاف الجوي للشمس طاقة تعادل بلايين القنابل الذرية في غضون بضع دقائق. الدافع لذلك هو إعادة تشكيل مفاجئ للحقول المغنطيسية للشمس التي تتقوس نحو الأعلى منطلقة من سطح الشمس، والتي يمكن اقتفاء أثرها عن طريق الغاز المتوهج الذي تحويه.

في أواخر الشهر 2003/10 وأوائل الشهر 2003/11 شهد العلماء بعض أكبر ألسنة اللهب الشمسية[2] التي رُصدت على الإطلاق. لقد بدت هذه التدفقات الضخمة للجسيمات المشحونة واضحة من الأرض وبالقرب منها ـ أي على بعد نحو 150 مليون كيلومتر من المصدر. وعلى سبيل المثال، كان وابلُ الجسيمات الذي وصل إلى الفضاء المجاور للأرض كثيفا، أحيانا، إلى درجة أدت إلى إيقاف مؤقت لكثير من السواتل (الأقمار الصنعية) العلمية وسواتل الاتصالات عن العمل، وأُصيب قليل منها بأضرار دائمة. كذلك فقد تعرض رواد الفضاء على متن المحطة الفضائية الدولية[3] للخطر، واضطروا إلى اللجوء إلى وحدة خدمات المحطة المحصنة جيدا نسبيا. أما قريبا من الأرض، فقد عُدِّلت مسارات الطائرات للابتعاد عن خطوط العرض العالية، حيث يواجه الطيارون في مثل هذه الظروف مشكلات في الاتصالات اللاسلكية، ويتعرض الركاب والملاحون لمستويات عالية مقلقة من الأشعة. هذا وقد روقبت شبكات الكهرباء بعناية تفاديا للأعطال؛ وعلى الرغم من هذه الجهود، حُرِمَ خمسون ألفا من سكان جنوب السويد من التيار الكهربائي مُدة وجيزة.

ولحسن الحظ، فإن الحقل المغنطيسي والغلاف الجوي للأرض يحميان معظم الناس، حتى من أسوأ العواصف الشمسية. إلا أن الاعتماد المتزايد للمجتمع على التقانة يجعل الجميع تقريبا عُرضة للمخاطر، بدرجة أو بأخرى. [انظر: «*عنف العواصف الفضائية*»، **العلوم**، العددان 3/2 (2002)، ص 60]. وتأتي أكبر الأضرار احتمالا أثناء انطلاق لسان لهب شمسي كبير من المادة المندفعة بسرعة من الغلاف الجوي الخارجي للشمس. وتُعرف هذه المادة في مصطلحات فيزيائيي الفضاء[4] **بالمقذوفات الإكليلية للمادة** coronal mass ejections. تُرسِلُ بعضُ هذه الانبثاقات كميات هائلة من الغازات المتأينة في مَسار تصادمي مع الأرض، كما حدث في أكثر من واحد من ألسنة اللهب الهائلة التي وقعت عام 2003.

ومع سعي العلماء الطويل إلى فهم مسببات هذه الألسنة من اللهب والمقذوفات الإكليلية للمادة المصاحبة لكثير منها، فإن الأرصاد لم

(*) THE MYSTERIOUS ORIGINS OF SOLAR FLARES
(1) atmosphere جو أو غلاف جوي.
(2) solar flares
(3) International Space Station
(4) space physicists



لسانُ لهب فائق الشدة يثور بالقرب من حافة الشمس في 2003/11/4. لقد غمر وميض أشعته كاشف الإشعاع فوق البنفسجي المتطرف extreme-ultraviolet detector الموجود على متن المرصد Solar and Heliospheric Observatory، مخلفا في الصورة خطا أفقيا زائفا (*في اليسار*). وكما هي الحال في أحداث مماثلة أخرى، فإن بقعة شمسية (موقع حقول مغنطيسية شديدة جدا) كانت موجودة قريبا من هذا الموضع.

تصبح جيدة بالقدر الكافي الذي يمكِّن من كشف تعقيدات هذه الظواهر وتوضيح آليتها الفيزيائية، إلا في العقد الأخير أو قريبا منه. ويرجع الفضل في ذلك إلى التقانات الجديدة التي استُحدثت خلال التسعينات. وقد تبين أن السبب هو حدوث عملية إعادة ترتيب مفاجئة لخطوط الحقل المغنطيسي، وهي ظاهرة تُعرف باسم **إعادة الربط** reconnection.

طقس هادىء ومعتدل بدرجة حرارة مليوني كلفن[*]

على الرغم من تعقيدات طقس الأرض، فإنه ينتج على الأقل من عمليات مألوفة: التسخين الشمسي والفروق في ضغط الهواء والأنماط المتغيرة للرياح، حتى إن غالبية الناس لديها إدراك حدسي، على سبيل المثال، لسبب كون السماء مشرقة في يوما ما وممطرة في اليوم التالي. وفي المقابل فإن ألسنة اللهب الشمسية ومظاهر أخرى «**لطقس الفضاء**» space weather تتضمن تفاعل كل من الحقول المغنطيسية والغازات الساخنة بدرجة كافية تجعلها في حالة متأينة (أي عندما تُجرد ذرات العناصر من إلكتروناتها). لا يمكن رؤية هذه التفاعلات بطريقة مباشرة، وقد يكون تصورها مخادعا حتى للمتخصصين. وترجع الفكرة الأساسية إلى كيفية إنتاج ألسنة اللهب الشمسية من هذه التغيرات (أي عملية **إعادة الربط المغنطيسي** magnetic reconnection) إلى الخمسينات والستينات من القرن العشرين، إلا أن الدلائل الرّصدية المؤيدة لها كانت بطيئة الورود لدرجة أن بعض فيزيائيي الفضاء بدأت تراودهم الشكوك في جدارة النظرية.

إجمالا، يتفق العلماء على أن الطاقة المحررة أثناء انبثاق لهب شمسي يجب أن تكون مختزنة أولا في الحقل المغنطيسي للشمس. يأتي هذا التكهن من حقيقة أن ألسنة اللهب تثور في أجزاء من الشمس وتسمى بالمناطق النشيطة، حيث الحقل المغنطيسي أقوى بكثير من متوسط شدته. وتُكتشف هذه المناطق بسهولة عن طريق وجود **البقع الشمسية** sunspots ـ وهي تلك البقع المظلمة التي تؤوي أشد الحقول المغنطيسية على الشمس. وفي هذه المناطق تمتد خطوط قوى الحقل المغنطيسي من سطح الشمس إلى الإكليل[1]، وهي الطبقة الخارجية للغلاف الجوي للشمس، وتتقوس إلى الأعلى

نظرة إجمالية/ فيزياء ألسنة اللهب[**]

- يمكن لألسنة اللهب الشمسية أن تُطلق طاقة تعادل بلايين القنابل الذرية في غضون بضع دقائق. تُصدر هذه الانفجارات دفقات من الأشعة السينية والجسيمات المشحونة، التي قد يصطدم بعضُها لاحقاً بالأرض، معرضا السواتل (الأقمار الصنعية) للخطر، ومسببا انقطاعات في التيار الكهربائي.
- تزود الحقول المغنطيسية المضطربة للشمس ألسنة اللهب: الوقود اللازم. وينتج الانطلاق المفاجئ للطاقة في لسان للهب من عملية يُطلق عليها اسم إعادة الربط reconnection، حيث تتحد خطوط الحقول المغنطيسية ذات الاتجاهات المتعاكسة ويُفني بعضها بعضا جزئيا.
- مع أن الدراسات النظرية لإعادة الربط المغنطيسي في الشمس أُجريت منذ عقود، فإن الأدلة الرصدية على هذه الظاهرة لم تتكشف إلا حديثا بوساطة مسابير الفضاء. وتتضمن السمات المميزة للظاهرة عرى مغنطيسية واضحة تقع أسفل البقعة التي تحدث فيها إعادة الربط المغنطيسي.

(*) Fair and Mild, Highs of Two Million
(**) Overview / Physics of Flares
(1) corona

في عرى واسعة تحتجز الغاز الساخن ـ وهو ساخن فعلا لأن درجة حرارته تبلغ بضعة ملايين درجة كلفن. هذا القدر من الحرارة عالٍ بالقدر الكافي الذي يجعل الغاز المحتوى يُصدر الأشعة فوق البنفسجية المتطرفة[1] والأشعة السينية [انظر: «السِّمة المحيرة للإكليل الشمسي الحار»، العلوم، العددان 7/6(2003)، ص 24]. تنبعث ألسنة اللهب التي تتدفق أحيانا من المناطق النشيطة من هذه السمات المغنطيسية، مسببة ارتفاعا في درجة حرارة الغاز في العُرى أكثر من المعتاد إذ تصل، نموذجيا، إلى ما بين 10 ملايين و 40 مليون درجة كلفن.

أما خارج إطار الارتباط العام بين ألسنة اللهب والحقول المغنطيسية القوية، فقد بقيت صورة تفاصيل جريان الأمور مشوشة مدة طويلة. وعلى سبيل المثال، لم يتضح للفلكيين، إلا تدريجيا، أن عُرى الحقل المغنطيسي والغاز الساخن المتعلقة بألسنة اللهب تختلف إلى حد بعيد عن بُنى شديدة الشبه بها موجودة في أمكنة أخرى داخل المناطق النشيطة. جاءت المؤشرات الأولى لهذا الاختلاف قبل 14 عاما تقريبا عن طريق قياسات أُجريت بوساطة الساتل الياباني يوهكو Yohkoh، الذي كان أول مسبار فضائي يلتقط صورا لألسنة اللهب الشمسية في أطوال موجية تمتد إلى الطاقات العالية المعتدلة للأشعة السينية (وهذا أفاد في تحديد مواقع الغاز الشديد الحرارة)، أظهرت قمم الحلقات المغنطيسية لبعض هذه الأحداث طرفا مستدقا[2] لافتا للنظر أشبه بقوس قُوطي الطراز[3] منه بقمة دائرية عادية.

وأثناء تفحص صور الساتل يوهكو، اكتشف ‹S. ماسودا› [الذي كان حينذاك طالب دراسات عليا بجامعة طوكيو] أن منطقة الطرف المستدق للسان لهب حدث عام 1992 أصدرت كميات كبيرة غير اعتيادية من الأشعة السينية ذات الطاقة العالية نسبيا (والطول الموجي القصير). خَلَصَ ‹ماسودا› إلى أن مصدر هذه الأشعة جيب من الغاز الساخن جدا (نحو 100 مليون كلفن) الذي من المتوقع أن يتوهج بتألق بأطوال موجية قصيرة من الأشعة السينية. وبصورة بديلة، يُمكن لشيء ما تسريع الإلكترونات في هذه المنطقة لتبلغ سرعات فائقة جدا وهذا يؤدي إلى إصدارها أشعة سينية عندما تعترضها أيونات الغاز المحيط بها، مبطئة حركتها فجأة.

إن أيا من هذين الاحتمالين شيء مربك! فإذا كان الغاز حارقا لهذه الدرجة، فكيف أمكن احتجازه في بقعة صغيرة كهذه؟ وإذا جاءت الأشعة السينية من الإلكترونات المسرَّعة المصطدمة بالأيونات، فلماذا جاءت الأشعة من مصدر متراص بالقرب من أعلى الحلقة، وليس من أسفلها، حيث كثافة الغاز أعلى ما يمكن؟

لحل هذه الألغاز طلب فيزيائيو الفضاء قياسات تُمكن من التمييز بين تأثيرات الغاز الساخن والإلكترونات المسرَّعة. ولفهم زمان ومكان حدوث الأنشطة الوثيقة الصلة بهذه التأثيرات، احتاجوا إلى صور متكررة للأشعة الشمسية في نطاق الطاقة الكامل للأشعة السينية وأشعة گاما. وقد أعاق عدم توافر هذه المعلومات الباحثين طوال معظم العقد التالي. لكن في عام 2002، أطلقت الوكالة ناسا **مصور راماتي الطيفي للطاقة الشمسية العالية** Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager (RHESSI) الذي التقط مشاهد تفصيلية لمنطقة الطرف المستدق في ألسنة لهب شمسية معينة، وبتنفيذ ذلك، قدم المصور RHESSI دليلا مقنعا مؤكدا مسؤولية عملية إعادة الربط المغنطيسي عن كل من ألسنة اللهب والمقذوفات الإكليلية.



مشهد ساطع لظاهرة الشفق Auroral الذي أضاء سماء الاسكا أثناء الليل خلال الشهر 2003/10 نتيجة النشاط المتزايد للشمس. يمكن لسيل الجسيمات المشحونة الصادرة عن الشمس أن يولّد هذه الظاهرة عندما تصل الجسيمات إلى الأرض وتصطدم بالطبقات العليا للغلاف الجوي. وتغادر هذه الجسيماتُ ذات الطاقة العالية الشمس خلال حركتها عبر خطوط قوى الحقل المغنطيسي للشمس.

تجاوز الحدود[*]

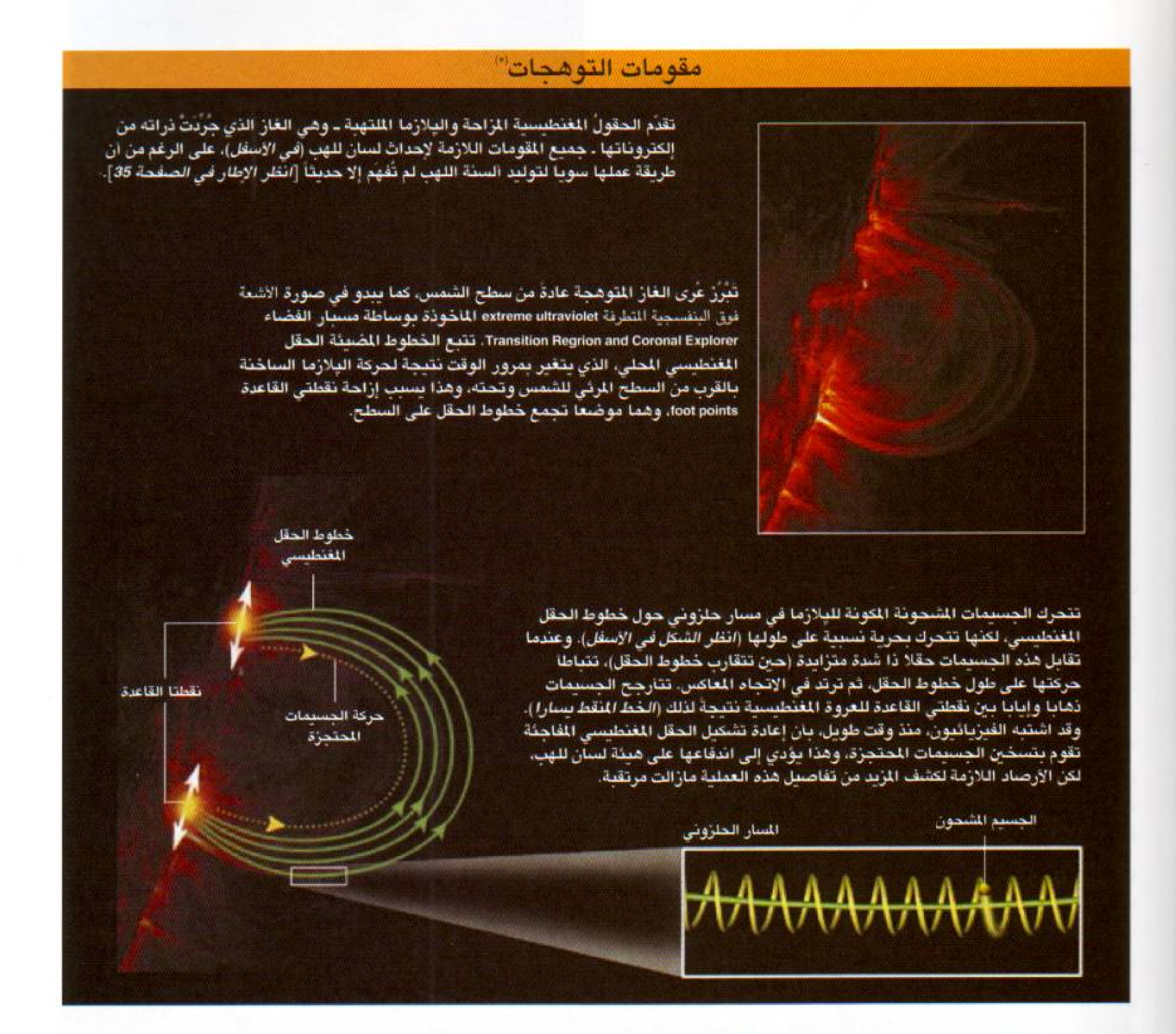
إن تتبع ما يحدث خلال أحداث إعادة الربط المغنطيسي على وجه الدقة، يتطلب أولا فهما عاما لكيفية احتجاز العرى المغنطيسية غير المرئية للغاز الساخن في الغلاف الجوي للشمس. ومن المفضل أن يُسمى هذا الغاز بالپلازما، نظرا إلى تكوّنه في الأغلب من الإلكترونات والپروتونات المنفصل بعضها عن بعض، وهذا يعني توصيله للكهرباء. لذا يستطيع الحقل الكهربائي أن يدفع هذه الجسيمات بمحاذاته مولدا تيارات كهربائية. وبالمثل، فإن الحقل المغنطيسي يؤثر في هذه الجسيمات المشحونة بقوى تدفعها للتحرك بحركة دورانية حول خطوط الحقل المغنطيسي.

وعلى الرغم من تقييد حركة الإلكترونات والپروتونات في مسارات دائرية حول خطوط الحقل المغنطيسي وفق هذا النمط، فإن باستطاعتها الحركة بحرية نسبيا على طول هذه الخطوط. وإنني أقول «نسبيا» بسبب تعرض الجسيمات المشحونة لقوة إعاقة إذا تحركت على طول خطوط حقل مغنطيسي متقاربة. فعلى سبيل المثال، تتباطأ حركة الجسيم المشحون أثناء هبوطه من أعلى العروة المغنطيسية إلى أسفلها مقتربا من إحدى النقطتين اللتين تسميان **نقطتي القاعدة** foot points للعروة، حيث تتقارب خطوط الحقل ويصبح الحقل المغنطيسي أكثر شدة. وفي نهاية المطاف تُوقف شدة الحقل المتزايدة حركة الإلكترون أو الپروتون، ثم تدفعه مرة أخرى إلى الأعلى. تشبه هذه العملية إلقاء كرة على فرشة. وخلافا للكرة، التي تعطي مؤقتا طاقة حركتها لضغط نوابض الفرشة، فإن الجسيمات المشحونة في الشمس لا تنقل الطاقة إلى الحقل المغنطيسي، بل تتحول طاقة هبوطها نحو الأسفل إلى زيادة في تردد حركتها الدائرية حول خطوط الحقل المغنطيسي. بهذه الطريقة، تعمل نقطتا القاعدة للحلقة المغنطيسية كمرآة تعكس الپروتونات والإلكترونات ذهابا وإيابا فيما يُعد بوجه أساسي، شَرَكًا كبيرا للجسيمات المشحونة.

ومن المثير للدهشة، أنه يمكن للپلازما نفسها أن تؤثر في خطوط الحقل المغنطيسي التي تملكها. وما يُمكّنها من ذلك، هو أنها نظرا إلى كونها بحرا من الجسيمات المشحونة، فبمقدورها أن تحتوي على تيارات كهربائية تنشأ كلما وُجد فرق في القُلطية لدفعها. في الدارات

(*) Crossing the Lines
(1) Extreme Ultraviolet Radiation
(2) cusp
(3) Gothic arch

مقومات التوهجات(*)



تقدّم الحقولُ المغنطيسية المزاحة والبلازما الملتهبة ـ وهي الغاز الذي جُرِّدَتْ ذراته من إلكتروناتها ـ جميع المقومات اللازمة لإحداث لسان للهب (في الأسفل)، على الرغم من أن طريقة عملها سويا لتوليد ألسنة اللهب لم تُفهَم إلا حديثاً [انظر الإطار في الصفحة 35].

تَبْرُزُ عُرى الغاز المتوهجة عادةً من سطح الشمس، كما يبدو في صورة الأشعة فوق البنفسجية المتطرفة extreme ultraviolet المأخوذة بوساطة مسبار الفضاء Transition Regrion and Coronal Explorer. تتبع الخطوط المضيئة الحقل المغنطيسي المحلي، الذي يتغير بمرور الوقت نتيجة لحركة البلازما الساخنة بالقرب من السطح المرئي للشمس وتحته، وهذا يسبب إزاحة نقطتي القاعدة foot points، وهما موضعا تجمع خطوط الحقل على السطح.

تتحرك الجسيمات المشحونة المكونة للبلازما في مسار حلزوني حول خطوط الحقل المغنطيسي، لكنها تتحرك بحرية نسبية على طولها (انظر الشكل في الأسفل). وعندما تقابل هذه الجسيمات حقلا ذا شدة متزايدة (حين تتقارب خطوط الحقل)، تتباطأ حركتها على طول خطوط الحقل، ثم ترتد في الاتجاه المعاكس. تتارجح الجسيمات ذهابا وإيابا بين نقطتي القاعدة للعروة المغنطيسية نتيجةً لذلك (الخط المنقط يسارا). وقد اشتبه الفيزيائيون، منذ وقت طويل، بأن إعادة تشكيل الحقل المغنطيسي المفاجئة تقوم بتسخين الجسيمات المحتجزة، وهذا يؤدي إلى اندفاعها على هيئة لسان للهب، لكن الأرصاد اللازمة لكشف المزيد من تفاصيل هذه العملية مازالت مرتقبة.

الكهربائية المألوفة ـ مثل تلك الموجودة في مصباح البطارية ـ تقوم البطارية بتوفير القلطية (الجهد) الدافعة ولا يوجد شيء مثل البطارية على سطح الشمس، إلا أن الحقل المغنطيسي المتغير يستحث فروقا في القلطية (طبقا لنفس المبادىء الفيزيائية التي يعمل وفقها المولد الكهربائي)، وبذلك تنشأ تيارات كهربائية. وما يجعل الأمور أكثر تعقيدا، هو أن هذه التيارات تولّد حقولا مغنطيسية جديدة. ويُنتج هذا التأثير، متحدا مع ميل نقاط قاعدة الحلقات المغنطيسية للحركة على غير هدى، تشكيلات رائعة دائمة التغير من الحقول المغنطيسية الشديدة التشوه في الغلاف الجوي للشمس، حاملة قدرا كبيرا من الطاقة المغنطيسية ـ التي هي وقود ألسنة اللهب الشمسية.

ولا يصف هذا الجزء من القصة إلا بعض الفيزياء الأساسية الفاعلة التي فهمها العلماء لعقود عديدة. وتنشأ المشكلة إذا حاولنا أن نشرح بدقة كيفية تحول جميع هذه الطاقة المغنطيسية إلى حرارة وجسيمات مُعجلة (مُسرَّعة) ومادة مقذوفة. ويأتي أحد الاحتمالات ببساطة من اعتبار أي دارة كهربائية بأنها لا تُميز بالتيار المار خلالها والقلطية الدافعة لتدفق الشحنة فحسب، بل أيضا بالمقاومة الكهربائية الكامنة فيها. على سبيل المثال، تقوم أسلاك المصباح الكهربائي بمقاومة التيار الساري خلالها مبددة بذلك الطاقة الكهربائية عن طريق تحويلها إلى ضوء وحرارة. كذلك، يوفر الغلاف الجوي للشمس مقاومة كهربائية لأن الجسيمات المشحونة المكونة للتيارات الكهربائية تصطدم أحيانا بعضها ببعض، وهذا يعيق سريان الشحنات ويرفع درجة حرارة الوسط. ثم إن للقلطية الدافعة للتيار حقلا كهربائيا مصاحبا له، وإذا كان هذا الحقل قويا بالدرجة الكافية، فسوف تُسرِّعُ الإلكترونات والأيونات إلى خارج البلازما الساخنة. من هنا تأتي الحرارة والجسيمات ذات الطاقة العالية، وهي العناصر الأساسية لألسنة اللهب.

لا يصمد جيدا هذا التفسير الأنيق إذا أمعنا النظر فيه، ويرجع أحد أسباب ذلك إلى أن المقاومة الكهربائية لإكليل الشمس ضئيلة جدا بدرجة لا تمكنها من تفسير المعدلات العالية لشدة سطوع ألسنة اللهب الشمسية. وحتى إذا كانت المقاومة أعلى من ذلك، فإن كيفية تركيز القدر المطلوب من الطاقة المغنطيسية في مكان واحد، وتحريرها في بَثَّة مفاجئة، لا تزال صعبة التفسير. وقد خلص الباحثون، قبل عقود،

(*) Flare Fodder



تُظهر الحلقات التي تعقب ألسنة اللهب طرفا مستدقا مميزا في قممها. وتعكس هذه الهندسة للغاز المتوهج اضطرابا في الحقل المغنطيسي المحلي. ويمكن لهذا الاضطراب أن يُحْدث إعادة الربط المغنطيسي المطلوب لتزويد ألسنة اللهب بالطاقة، وفي بعض الأحيان تبقى آثاره مستمرة عدة أيام تالية.

إلى أن توليد فُلطية دافعة لتيار وحيد بسيط، لا يمكن أن يرفع درجة حرارة الغلاف الجوي للشمس بالسرعة الكافية، أو يولد دفقا من الجسيمات المسرَّعة كافيا لإحداث لسان من اللهب.

وعلى مر السنين، كان فيزيائيو الفضاء يقدمون أفكارا متنوعة أكثر تعقيدا: فربما تنتج ألسنة اللهب من تيارات عديدة مختلفة تتحد معا، أو من حيز يحوي موجات من البلازما المضطربة والحقول الكهربائية العشوائية المصاحبة لها. ويُمكن لهذه الترتيبات الخاصة أن تُحدث لسانا من اللهب، لكن لا تستطيع هذه الآليات أن تفسر جميع الأرصاد، وخصوصا ميل المقذوفات الإكليلية للمادة إلى أن تكون مصحوبة بألسنة لهب كبيرة. وهناك نظرية يُنتظر لها مستقبل مرموق، وهي لا تتضمن دينامية الحقل الكهربائي فحسب، بل أيضا نظيره المغنطيسي، لذا دعوني أصف فيزياء كل من هذه الحقلين بتفصيل أكبر.

إن لدى الحقول المغنطيسية اتجاها مصاحبا لها، فعلى سبيل المثال، تتجه خطوط القوى حول قضيب من المغنطيس من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي. وإذا أُحضر حقلان مغنطيسيان متوازيان، لكنْ متعاكسان في الاتجاه، إلى البلازما فسوف ينشأ تيار كهربائي بينهما متخذا شكل صفيحة مستوية. (اعتاد معظم الناس على الاعتقاد بأن التيار الكهربائي يسري في بُعد واحد ـ على طول سلك كهربائي، مثلا ـ لكن في الشمس، حيث الغلاف الجوي بأكمله موصل للكهرباء، لا يوجد ما يمنع سريان التيار الكهربائي في مستويات ذات بعدين). وبمرور الزمن، يتناقص قدر الطاقة المغنطيسية الذي يحتويه الحقلان المغنطيسيان، وذلك مع قيام المقاومة بتبديد التيار الكهربائي الساري في الصفيحة.

في عام 1956، أدرك الباحث الراحل <A. P> سويت> [الذي كان يعمل حينذاك في مرصد جامعة لندن] أن طاقة الحقل المغنطيسي تتراجع بطريقة أسرع إذا انفصلت خطوط الحقلين المتعاكسين بالاتجاه، ثم التحمت، أو أعيد ارتباطها، مرة أخرى في صفيحة التيار الكهربائي الذي تكوّن بينهما. ويترتب على ذلك إلغاء الحقلين المتقابلين كل منهما الآخر في بثقة من الطاقة، وهذا يشبه تقريبا، فناء المادة والمادة المضادة[1]. عندئذ يمكن للحقلين المغنطيسيين المتجاورين والبلازما المطمورة فيهما أن يسريا في الصفيحة في كلا الاتجاهين. وفي فيزياء هذه الظاهرة يجري لفظ كلٍ من الحقول المغنطيسية الجديدة، التي نشأت عن التحام خطوط القوى، التي كانت منفصلة سابقا، والبلازما إلى أطراف المستوى. وفي أواخر الخمسينات وأوائل الستينات من القرن السابق قدّم <N. E> باركر> [من جامعة شيكاگو] نموذجا رياضياتيا يصف هذه العملية التي يُطلَق عليها الآن اسم **إعادة الربط المغنطيسي لـ <سويت- باركر>** Sweet-Parker magnetic reconnection.

لا تستطيع عملية إعادة الربط هذه أن تقدم التفسير الكامل لما يحدث أثناء ألسنة اللهب الشمسي، نظرا إلى أن إعادة ترتيب خطوط الحقل المغنطيسي تحدث ببطء شديد لا يسمح لها بتفسير معدلات الطاقة العالية المحرَّرة. وفي عام 1963، بعد أن أدرك هذا القصور للنموذج الجديد، الباحث الراحل <E. H> بيتشيك> [من معمل أبحاث Avco-Everett بولاية ماساتشوتس] حوّل اهتمامه إلى هذه المشكلة، وتوصّل إلى أنه تحت شروط معينة، فإن عملية إعادة الربط تحدث بسرعة أعلى بكثير من المعدل الذي تقدمه عملية سويت-باركر. وتُعرف هذه الظاهرة الآن باسم إعادة ربط بيتشيك أو إعادة الربط السريع[2]، وهذا يخالف الظاهرة التي وصفها <سويت> و<باركر>، والتي يطلق عليها إعادة الربط البطيء.

المشاهدة خير دليل(*)

في كلٍ من إعادة الربط السريع والبطيء، يكون سُمك صفيحة التيار الكهربائي ضئيلا جدا إذ إنه لا يتجاوز بضعة أمتار، وهذا أقل مما يلزم للجيل الحالي من أجهزة القياس عند رصد الشمس. ومع ذلك، تُولِّد كلٌ من العمليتين ظاهرةً مهمة يمكن رصدها، وهي تَكَوُّن حقول مغنطيسية في مناطق متمايزة. فهل أظهرتْ صُوَر مسابير الفضاء الحديثة هذه السمات المميزة؟

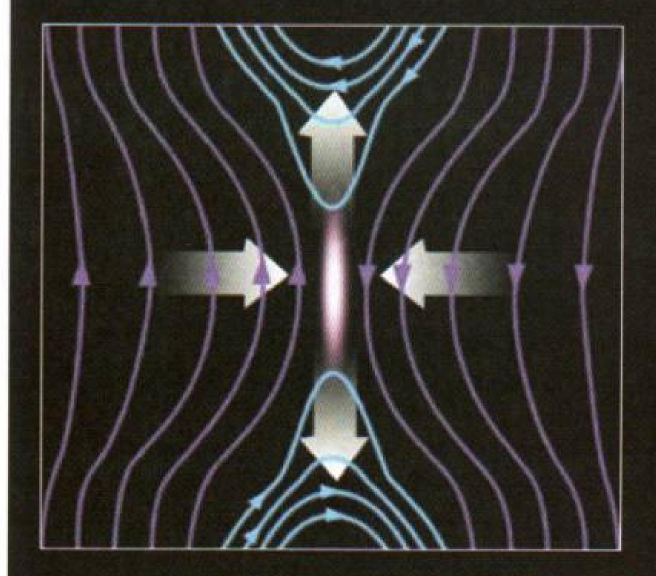
على الرغم من أن إعادة الربط قد تكون كلّيّة الوجود في الشمس، فإن إيجاد دليل مباشر على وجودها ليس بالأمر الهيّن. وقد قدّمت بعثة RHESSI مساعدة كبيرة في هذا المجال، ففي عام 2003، قامت <L. سو> [التي كانت حينذاك طالبة دراسات عليا في الجامعة الكاثوليكية الأمريكية وتعمل معي في مركز گودارد للطيران الفضائي التابع للوكالة ناسا[3]]، بتحليل أرصاد الصور RHESSI للسان لهب متوسط الشدة حدث في 2002/4/15. كان لهذا الحدث أهمية خاصة، لأنه أصدر مقذوفا إكليليا للمادة بزاوية مكّنت من مشاهدته بسهولة، إضافة إلى ذلك، كان لسان اللهب على هيئة عروة بسيطة، لذا بدا إلى حد بعيد عاديا جدا. ومع ذلك لاحظت <سو> وجود **مصدر متراص** compact source للأشعة السينية الضعيفة يُحلّق فوق العروة المغنطيسية، ويبدو غير متصل بها. كان ذلك مثيرا للفضول، لكنْ للتوثق من حقيقة وجود هذا المصدر المنفصل، قمنا بالحصول على سلسلة من الصور من بداية لسان اللهب إلى نهايته في تسلسل زمني استغرق زهاء 10 دقائق.

لقد كان حقيقيا فعلا. ظهر المصدر الغامض للأشعة السينية في البداية عند قمة العروة. وعندما بدأ لسان اللهب بإصدار الأشعة السينية ذات الطاقة العالية، تحركت قمة العروة إلى الأسفل في حين ظل المصدر ثابتا. وعندما بلغ لسان اللهب ذروته، حين بلغت الأشعة السينية ذات الطاقة العالية أقصى معدلاتها، تغير فجأة اتجاه حركة العروة إلى الأعلى، وبدأ المصدر الغامض للأشعة السينية بالتحرك إلى الأعلى أيضا، لكنه كان أسرع بكثير. وخلال دقيقتين خَفَتَ مصدر الأشعة السينية هذا ثم اختفى. لَمْ يَرَ أحدٌ حدثا مثل هذا من قبل. لقد انطلق مصدر الأشعة السينية، الذي بدا ساكنا في البداية، مبتعدا عن

(*) Seeing is Believing
(1) matter-antimatter annihilation
(2) Petschek or fast reconnection
(3) NASA Goddard Space Flight Center

إحداث عمليات الربط(*)

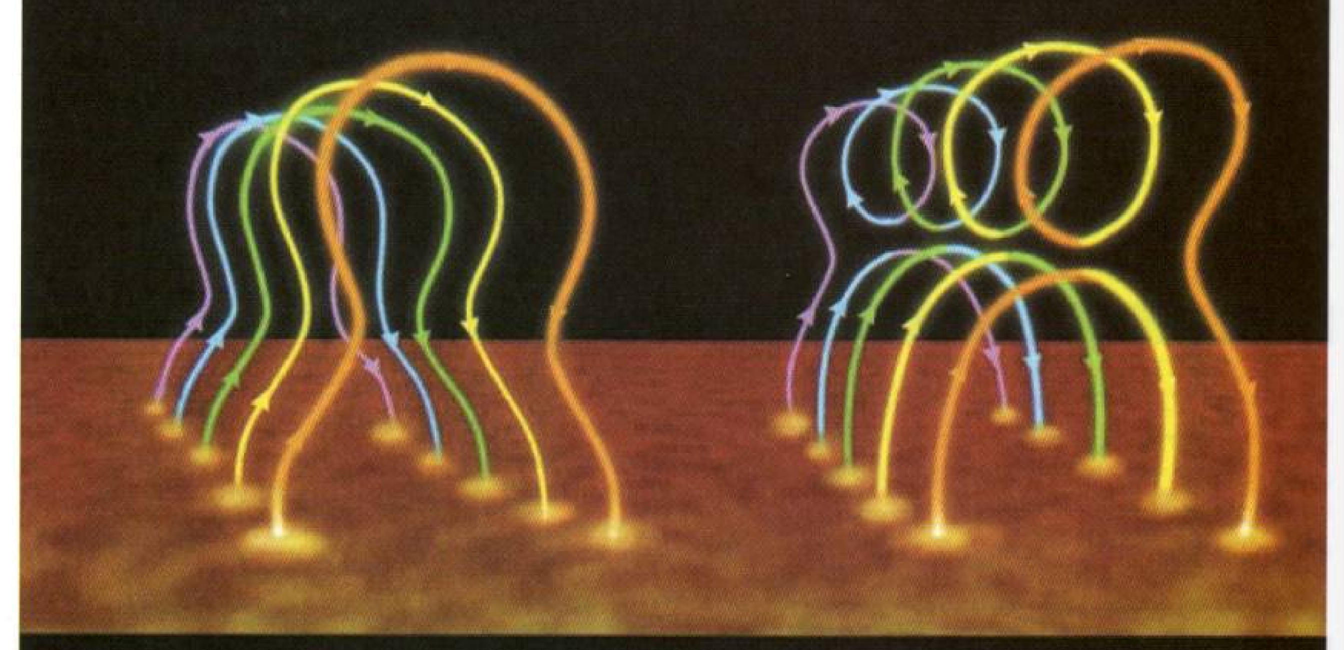
إن مصدر طاقة ألسنة اللهب الشمسية هو ظاهرة تسمى إعادة الربط المغنطيسي، تنضمّ فيها خطوط الحقل المغنطيسي للشمس بعضها إلى بعض، ثم تعيد تشكيل نفسها بسرعة. وتستمد أحداث إعادة الطاقة من الحقل المغنطيسي، مستخدمة إياه في تسخين الغلاف الجوي للشمس محلياً، وتسريع الجسيمات المشحونة لبلوغ سرعات عالية.



إعادة تشكيل الحقل

تحدث إعادة الربط المغنطيسي، عموما، عندما تتقارب سويا خطوط الحقل المغنطيسي المتعاكسة بالاتجاه في *الشكل الموضح في اليسار*. تتحرك خطوط الحقل المغنطيسي المتجهة إلى الأعلى والأسفل نحو المركز. تتكون عندئذ صفيحة عمودية من التيار الكهربائي (اللون القرنفلي، الذي يُرى هنا من حافته). تندمج خطوط الحقل المغنطيسي المتقابلة داخل هذه الصفيحة للتيار مفنية بعضها بعضاً جزئيا، ومطلقة الطاقة المغنطيسية التي تحتويها. عندئذ تنشأ خطوط حقل جديدة (اللون الأزرق) أعلى وأسفل صفيحة التيار، وتتحرك بسرعة متباعدة عن موقع إعادة الربط.

يمكن لعمليات إعادة الربط في الشمس أن تصبح أكثر تعقيداً (في الأسفل). وفي بعض الأحيان، تُعيد هذه العمليات تشكيل سلسلة خطوط الحقل المغنطيسي المتقوسة بعضها خلف بعض، فيما يُعرف بالقناطر الشمسية solar arcades. وعلى سبيل المثال، يمكن لمجموعة من تلك الخطوط أن تنضغط نحو الداخل في آن واحد (*في الأسفل يساراً*). وإذا استمرت هذه العملية، يمكن أن تؤدي إلى إعادة ربط جماعي، مصدرة لسان لهب شمسياً، وتاركةً حقلاً مغنطيسيا لولبيًا فوق قنطرة منخفضة من العُرى في الأسفل (*في الأسفل يميناً*). تُظهر نقاط التقاء الألوان المختلفة مواضع حدوث إعادة الربط. وقد يتمدد الحقل اللولبي والمادة التي بداخله نحو الخارج، مكوّنين مقذوفاً إكليلياً للمادة.



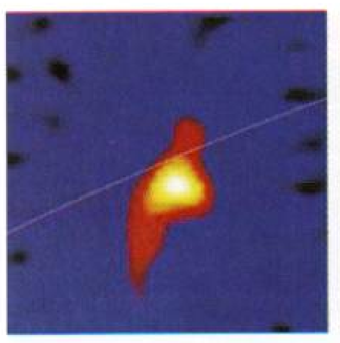
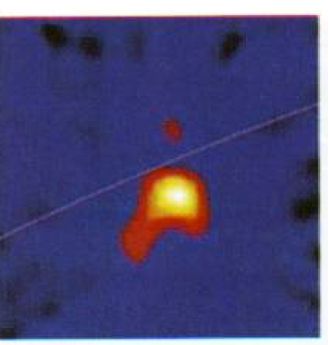
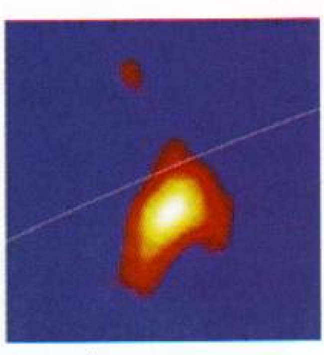


دليلٌ متريِّث

تترك أحداث إعادة الربط، عادة، آثاراً تدل عليها. تُظهر الصورة *في اليمين*، المأخوذة بوساطة مسبار الفضاء TRACE في الشهر 2000/9 شبكة متداخلة من العرى التي كانت واضحة بعد مرور ساعتين على حدوث لسان لهب شمسيٍّ في ذلك الموضع. وعلى الرغم من أن هيئة الحقل المغنطيسي قبل التوهج غير معروفة، فإن ظهور العرى بالشكل المختلط في هذه الصورة يوحي بأن ثمة عملية إعادة ربط مغنطيسي كبيرة حدثت. يمكن أن تكون قد تركت جزءاً من الحقل المغنطيسي منفصلاً بوضوح عن سطح الشمس.

(*) Making Connections

الشمس بسرعة 300 كيلومتر في الثانية، وهي نفس سرعة المقذوف الإكليلي للمادة الذي صاحب لسان اللهب هذا. واشتبهتُ مع <سو> بأننا اكتشفنا أخيرا المصدر الغامض لهذا التحرر الانفجاري للمادة. والأفضل من ذلك هو أن قياسات درجات الحرارة أشارت إلى المصدر الذي أتت منه الطاقة، والذي تبيّن أنه واقع بين ذروة العروة المغنطيسية ومصدر الأشعة السينية المثير للفضول.

لقطات من الأشعة السينية، أُخذت بوساطة بعثة RHESSI تصوّرُ لسان اللهب الذي حدث في 2002/4/15، والذي كان مصحوباً بمقذوفات إكليلية للمادة. يَظْهَرُ خلال لسان اللهب مصدر للأشعة على شكل انتفاخ أحمر فوق العروة الرئيسية للغاز الساخن (*في اليسار*) وفوق الحافة المرئية للشمس (*الخط الأبيض*). ظلّ هذا المصدر ساكناً بضع دقائق، في حين هبطت قمة العروة (*في الوسط*)، لكنه انطلق بسرعة في الفضاء فيما بعد (*في اليمين*). يدعم هذا التسلسل فكرة أن إعادة الربط في أعلى العرى المغنطيسية تفسرّ ألسنة اللهب والمقذوفات الإكليلية للمادة، لكون هذا النسق متفقاً تماماً مع ما نتوقعه إذا ما عاد ربطُ الحقل المغنطيسي أعلى الحلقة، حيث يسمح لنصف خطوط الحقل الجديدة أن تزاح إلى الأسفل، في حين يتسارع النصف الآخر إلى الأعلى مزوداً المقذوفات الإكليلية للمادة بالطاقة.

واتفق هذا النسق مع ما نتوقع أن نراه إذا أعيد ربط الحقل المغنطيسي أعلى العروة في صفحة موجهة عموديا من التيار الكهربائي. ومن المحتمل، أن يكون كلٌّ من الحقل المغنطيسي للإكليل والبلازما قد تدفّق في صفيحة التيار باتجاه أفقي من كلا الجانبين. وهناك أعيد ربط الحقول المغنطيسية المتعاكسة بالاتجاه، وأُزيح نصف خطوط الحقل الجديد بسرعة إلى الأسفل حيث تراصت على العرى المغنطيسية الموجودة سلفا. وقد تسارع نحو الأعلى النصف الآخر من خطوط الحقل المغنطيسي الذي أعيد ربطهُ مولِّدا عروة مغنطيسية كبيرة ملتوية، انفصلت أجزاء منها عن الشمس. وفي بعض ألسنة اللهب الشمسية على الأقل، لابد لهذه العُرى المغنطيسية الملتوية من أن تصبح مقذوفات إكليلية للمادة. وتقدم إعادة الربط المغنطيسي وسيلة للجزء المركزي من الحلقة (ولفقاعة البلازما الموجودة فيها) للهروب من الشمس ـ كما تنقطع فجأة الحبالُ المقيِّدةُ لبالون.

وساعد أيضا هذا التصور، الذي نتج من دراستنا لهذا الحدث الذي جرى عام 2002، على شرح أرصاد الساتل يوهكو السابقة. فالطرف المستدق، الذي شوهد أعلى عُرى ألسنة اللهب عام 1992، لابد أنه كان موجودا تحت صفيحة غير مرئية من التيار الكهربائي، حيث تتكون خطوط الحقل المغنطيسي التي أُعيد ربطها حديثا، وتتداعى باستمرار على الحقل الواقع أسفلها. كان البريق المتألق للطرف المستوي يحدث بأطوال الأشعة السينية نتيجة للحقن المستمر للبلازما الساخنة والإلكترونات المسرَّعة من صفيحة التيار الكهربائي الواقعة أعلاه، وربما نتيجة لعملية التسخين وتسريع الإلكترونات في العقد ذاته.

يبدو أن لدينا الآن تفسيرا لكيفية حدوث بعض ألسنة اللهب الشمسية والمقذوفات الإكليلية للمادة على الأقل، لكن مازال هناك العديد من الأسئلة دون إجابة. وعلى سبيل المثال، ما سبب تسريع الجسيمات في ألسنة اللهب؟ وما الذي يؤدي إلى حدوث إعادة الربط المغنطيسي المفاجئ؟ يأمل فيزيائيو الفضاء إيجاد أجوبة لهذه الأسئلة بسرعة في سياق دراستنا المستمرة لألسنة اللهب باستخدام المصور RHESSI ومراصد شمسية أخرى، بما فيها مسبارا الفضاء Solar B وSTEREO، اللذان سيُطلقان قريبا. وسوف تقوم بعثة Solar B بإعداد خريطة عالية الدقة للحقول المغنطيسية للشمس، كما ستقوم بعثة STEREO (اختصارا لـ Solar TErrestrial RElations Observatory) بوضع سفينتين فضائيتين في موقعين يُمكِّنان من التقاط صور ثلاثية الأبعاد للشمس.

ويأمل الباحثون أن تقدم هذه المناظر حلا لألغاز هندسة المقذوفات الإكليلية للمادة عند مغادرتها للشمس ومرورها **عبر الفضاء الكوكبي** interplanetary space.

إن مقدرة العلماء على توقع الطقس العنيف للفضاء سوف تتحسن بلا شك في الأعوام المقبلة ـ وسوف تأتي التحسينات من كلٍّ من فهم أفضل لآليات دفع ألسنة اللهب الشمسية والأدوات المتاحة، التي تتطور باستمرار، والتي تُستعمل لمراقبة الفضاء حول الشمس والأرض. لذا يتوقع الباحثون المعنيّون بدراسة عواصف الفضاء، أن يُحل سريعا كثيرٌ من الألغاز المتبقية. إننا نتطلع إلى الوقت الذي تصبح فيه التنبؤات بطقس الفضاء نشاطا عاديا مماثلا للتنبؤات التي يزودونا بها، روتينيا، خبراء إصدار طقس الأرض. ■

المؤلف

Gordon D. Holman

يجري أبحاثه في مختبر الشمس وفيزياء الفضاء بمركز كودارد لطيران الفضاء التابع للوكالة ناسا، وهو باحث مشارك في بعثة RHESSI. حصل <هولمان> على الدكتوراه في الفيزياء الفلكية من جامعة نورث كارولاينا في تشابل هيل، وتتركّز أبحاثه على تطبيق ***فيزياء البلازما*** *plasma physics لشرح الأرصاد الفلكية. ويعمل أيضا مع زملائه في الوكالة ناسا على تبسيط فيزياء الشمس للهواة من خلال موقع الوكالة على الوب.*

مراجعُ للاستزادة

Magnetic Reconnection. Eric Priest and Terry Forbes. Cambridge University Press, 2000.

Evidence for Magnetic Reconnection in Three Homologous Solar Flares Observed by *RHESSI*. Linhui Sui, Gordon D. Holman and Brian R. Dennis in *Astrophysical Journal*, Vol. 612, pages 546–556; September 1, 2004.

Multiwavelength Analysis of a Solar Flare on 2002 April 15. Linhui Sui, Gordon D. Holman, Stephen M. White and Jie Zhang in *Astrophysical Journal*, Vol. 633, pages 1175–1186; November 10, 2005.

General information about solar flares can be found at **http://hesperia.gsfc.nasa.gov/sftheory/**

Information about the Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager can be found at **http://hesperia.gsfc.nasa.gov/hessi/**

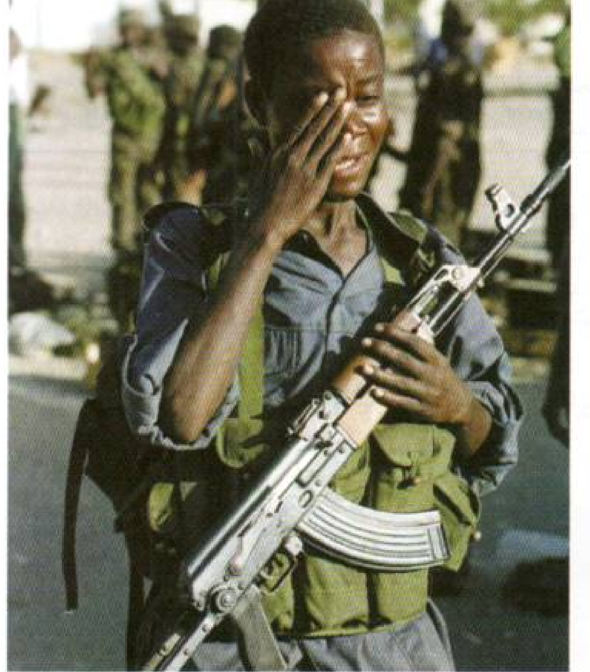
Scientific American, April 2006

تتمة الصفحة 9 (هل العولمة تساعد فقراء العالم أم قد تضر بهم؟

الدول المنتجة للقهوة من أرباح كان أقل من نصف ما تم تحقيقه قبل عقد من الزمن. فالمشكلة ليست في الأسواق العالمية، ولكنها تكمن في عدم القدرة على الوصول إلى تلك الأسواق، أو الأسعار المنخفضة المعروضة على المنتجين نتيجة للقدرة الاحتكارية التي تتمتع بها مجموعة قليلة من شركات بيع المفرق. ففي بعض الصناعات، يمكن أن تتحد بعض الشركات لتثبيت الأسعار. وقد اقترح بعض الاقتصاديين تأسيس وكالة تحقيق دولية مناهضة للتروستات[1]. وحتى وإن لم يكن لهذه الوكالة سلطة تنفيذية، من الممكن لها أن تعبئ الرأي العام وتقوي مواقف المنظمات الأخرى المناهضة للتروستات. هذا ويمكن لبرامج الشهادات الدولية الخاصة بجودة المنتجات أن تساعد الدول الفقيرة على الوصول بمنتجاتها إلى الأسواق العالمية.

البرامج الاجتماعية. يناقش العديد من الاقتصاديين أنه إذا أُريد للتجارة أن تُحسِّن وضع دولة من الدول، فقد يكون على حكومة هذه الدولة، إعادة توزيع الثروات والدخول إلى حد ما، بحيث يتقاسم الرابحون من سياسات الانفتاح الاقتصادي المكاسب مع الخاسرين. وبالطبع، فإن عبارة «إلى حد ما» مازالت تترك المجال مفتوحا للخلافات. بيد أن بعض البرامج أقل إثارة للجدل، مثل برامج مساعدة العاملين على التأقلم عند فقدانهم وظائفهم وإعادة تدريبهم وتأهيلهم وتوظيفهم، وبرامج المنح الدراسية للطلبة الفقراء والتي برهنت على فعاليتها في تخفيض عمالة الأطفال أكثر من تحريم استيراد البضائع.

الأبحاث. لقد أدت «الثورة الخضراء»[2] دورا كبيرا في تخفيض الفقر في آسيا. فالشراكات الدولية الجديدة بين القطاعين العام والخاص يمكن أن تساعد على تطوير منتجات أخرى مناسبة للفقراء (على سبيل المثال الأدوية واللقاحات والمحاصيل). ولكن لا تملك الشركات الدوائية الدولية في ظل نظام براءات الاختراع الدولية الحالي الكثير من الحوافز للقيام بأبحاث مكلفة عن أمراض مثل الملاريا والسل التي تزهق أرواح الملايين في الدول الفقيرة كل عام. ولكن بدأ يبرز نوع من التعاون في مجال الأبحاث بين المنظمات المانحة، مثل منظمة الصحة العالمية والمجموعات الدولية التطوعية، مثل أطباء بلا حدود، والمؤسسات الخاصة مثل مؤسسة بل وميلندا گيتس.



جندي حكومي مراهق، بنكيلا، أنغولا، 1993.

إصلاح برامج الهجرة في الدول الغنية. يبدو أن السماح بهجرة أعداد كبيرة من العمال غير المؤهلين إلى الدول الغنية «كعمال ضيوف» يمكن أن يسهم في تخفيض الفقر العالمي أكثر من أي شكل من أشكال الاندماج في الاقتصاد العالمي، مثل تحرير التجارة. إلاّ أن المناخ الدولي الحالي لا يستحسن كثيرا تلك الفكرة.

إن الشعارات المناهضة للعولمة أو الخطب حول الفوائد المطلقة للتجارة الحرة لا تخدم قضية الحد من الفقر، حيث إن تحديد مدى تعقيد هذه القضايا وتضافر السياسات الوطنية والدولية سيكونان بالتأكيد أكثر جدوى. ■

(1) antitrust ضد الشركات الاحتكارية.
(2) Green Revolution

المؤلف

Pranab Bardhan

أستاذ العلوم الاقتصادية في جامعة كاليفورنيا ـ بيركلي. أجرى عددا من الأبحاث النظرية والدراسات الميدانية حول المؤسسات الريفية في الدول الفقيرة، والاقتصاد السياسي لسياسات التنمية، وكذلك حول التجارة العالمية. وربما يكون الأكثر شهرة في البرهان على أن الكفاءة الاقتصادية والعدالة الاجتماعية هما هدفان متكاملان وليسا متناقضين. لقد كان <باردهان> بين عامي 1985 و 2003 رئيس تحرير مجلة الاقتصاد التنموي، وهو حاليا رئيس مشارك في مؤسسة ماكارثر، وهي شبكة أبحاث دولية حول انعدام المساواة والأداء الاقتصادي.

مراجع للاستزادة

Moving to Greener Pastures? Multinationals and the Pollution Haven Hypothesis. G. S. Eskeland and A. H. Harrison in *Journal of Development Economics*, Vol. 70, No. 1, pages 1–24; February 2003.

The Impact of Globalization on the Poor. Pranab Bardhan in *Globalization, Poverty, and Inequality.* Edited by S. M. Collins and C. Graham. Brookings Institution Press, Washington, D.C., 2004.

Globalization, Gender and Poverty: Bangladeshi Women Workers in Export and Local Markets. N. Kabeer and S. Mahmud in *Journal of International Development*, Vol. 13, No. 1, pages 93–109; January 2004.

How Have the World's Poorest Fared Since the Early 1980's? Shaohua Chen and Martin Ravallion in *World Bank Research Observer*, Vol. 19, No. 2, pages 141–170; Fall 2004.

Globalization and Labor Income in Mexico. G. H. Hanson. National Bureau of Economic Research Working Paper No. 11027. Cambridge, Mass. January 2005.

Scientific American, April 2006

إيقاف داء ألزهايمر(*)

تكشف أبحاث جديدة عن استراتيجيات لصدّ السيرورات الجزيئية التي تفضي إلى هذا المرض المدمِّر للذاكرة.

<M .S. وولف>

يقصم داء الزهايمر بالتدريج ذاكرات المرء إلى أن يصل إلى أقدمها، لكن العلماء يسعون إلى معالجات واعدة. وتستطيع بعض العلاجات تضييق الخناق على التقطيع الجزيئي الذي يبدو أنه يستهل هذا المرض. وثمّة علاجات أخرى تستطيع منع التأثيرات الوبيلة التي تتبع ذلك.

إن دماغ الإنسان هو حاسوب عضويٌ معقَّد بصورة بالغة البراعة، يجمع تشكيلة واسعة من الخبرات الحسية ثم يعالج هذه المعلومات ويختزنها، ويستذكر شذرات منها ويكاملها في اللحظات المناسبة. وقد جرى تشبيه الدمار الذي يسببه داء ألزهايمر بمحو قرص ممغنط يبدأ بالملفّات الأحدث ويستمر رجوعا إلى الملفات الأقدم. وغالبا ما تتمثّل علامة بدء هذا المرض بالإخفاق في استذكار حوادث الأيام القليلة الماضية ـ محادثة هاتفية مع صديق أو زيارة أحد عمال التصليح إلى المنزل ـ في حين تبقى استذكارات الحوادث القديمة سليمة. ولكن، وبينما تتقدم العلّة تتلاشى تدريجيا الذاكرات القديمة كما الحديثة إلى حين لا يعود المريض يتعرَّف حتى أحباءَه. هذا ولا يتأتّى الخوف من داء ألزهايمر من ألم أو معاناة بدنيّة، بل

(*) SHUTTING DOWN ALZHEIMER'S

يخرب داء ألزهايمر مكونات الدماغ نفسها.

من الفقْد المعنّد لذاكرات العمر التي تؤلِّف الهوية الحقيقية لصاحبها.

ولسوء الحظ، ينهار هذا الشبه بين دماغ الإنسان والحاسوب: إذ لا يستطيع المرء ببساطة إعادة تشغيل الدماغ البشري مثلما يفعل في الحاسوب، أو أن يعيد تحميل ملفاته وبرامجه. فالمشكلة هي أن داء ألزهايمر لا يمحي فقط المعلومات؛ إذ إنه يُتلف **مكونات** hardware الدماغ الذي يضم أكثر من 100 بليون من الخلايا العصبية (العصبونات) مع 100 ترليون من الوصلات بينها. ويستفيد معظم الأدوية الحالية لداء ألزهايمر من حقيقة أن العديد من العصبونات تنفقد بسبب توقف انطلاق نمط من **الموصلات** communicators الكيميائية أو **النواقل العصبية** neurotransmitter يسمى الأستيلكولين acetylcholine، وذلك بسبب المرض. ولمّا كانت هذه الأدوية **تحصر** block الإنزيم المسؤول عن التفكيك الاعتيادي للأستيلكولين، فإنها تزيد كميات هذا الناقل العصبي الذي تنضب كميته عادة بدونها. وتكون النتيجة إذًا تنشيط العصبونات وتحقيق تفكير أوضح. ولكن هذه العقاقير تصبح نمطيا عديمة الجدوى في غضون ما بين ستة أشهر إلى سنة لأنها لا تستطيع إيقاف التدمير القاسي للعصبونات. وثمة دواء آخر، يدعى **ميمانتين** memantine، يبدو أنه يُبطئ **التدهور المعرفي** cognitive لدى المرضى الذين إصابتهم بالألزهايمر معتدلة إلى شديدة. وذلك عن طريق حصر الفعالية المفرطة لناقل عصبي آخر مختلف هو **الكلوتامات** glutamate، ولكن الباحثين لم يحدِّدوا بعد إذا كانت مفاعيل هذا العقّار تدوم أكثر من سنة واحدة.

قبل أكثر من عقد من الزمن كانت فئة قليلة من الناس متفائلة حول توقعات قهر داء ألزهايمر. فلم يكن العلماء يعرفون إلاّ القليل عن بيولوجية هذا المرض، وكان يعتقد بأن منشأه ومساره معقّدان إلى حد يبعث على اليأس. أما اليوم، فقد أحرز الباحثون تقدّما هائلا باتجاه فهم الحوادث **الجزيئية** molecular التي يبدو أنها تقدح هذا الداء، ويقومون حاليا باستكشاف تشكيلة من الاستراتيجيات لإبطاء أو إيقاف هذه السيرورات المدمِّرة. ولعل واحدة من هذه المعالجات، أو مجموعة منها، تستطيع إعاقة **تَنكُّس** degeneration العصبونات بالقدر الذي يكفي لإيقاف داء ألزهايمر في مساراته. وهناك بضعة علاجات مرشحة تخضع للتجريب السريري، وقد أسفرت عن بعض النتائج الأولية الواعدة. ويتزايد يوما بعد يوم عدد الباحثين الذين يستشعرون الأمل، مع أن الأمل كلمة لا تصاحب عادة داء ألزهايمر.

الفرضية النشوانية(*)

هناك سمَتان رئيسيتان تميّزان هذا المرض، لاحظ إحداهما طبيب الأعصاب الألماني <A. ألزهايمر>(1) قبل مئة عام وتتمثّل في **لويحات** plagues **وحبائك** tangles في القشرة المخية **والجهاز الحَوْفي** limbic system المسؤولَين عن الوظائف الدماغية العليا. أما اللويحات فهي ترسُّبات موجودة خارج العصبونات وتتألف بشكل رئيسي من بروتين صغير يدعى (نشواني بيتا amyloid-beta أو A-beta). وأما الحبائك فتوجد داخل العصبونات واستطالاتها الفرعية (من **محاوير** axons **وتغصُّنات** dendrites) وتتألّف من خيوط من بروتين يدعى تاو tau. وقد استهلت ملاحظة هاتين الشاذتين نقاشا دام طوال معظم القرن العشرين وتمحور حول السؤال التالي: هل تعدُّ اللويحات والحبائك مسؤولة عن تنكُّس العصبونات الدماغية، أم أنها مجرد علامات على مكان حدوث الموت العصبوني؟ ففي العقد الماضي، كان الدليل أقرب إلى فرضية الشلال النشواني التي تقول إن النشواني بيتا وتاو كليهما متورِّطان في تسبيب داء ألزهايمر، وإن النشواني بيتا يقدّم الإساءة الأولية.

إن النشواني بيتا A-beta هو اختصار لـ «ببْتيد» قصير(2) أو **شُدْفة** fragment بروتينية، وقد جرى عزلها لأول مرة من قبل <G. كلنَّر> و <W. C. وُنك> عندما كانا في جامعة كاليفورنيا بسانديگو. ويُشتق هذا الببتيد من بروتين أكبر يدعى طليعة النشواني ـ بيتا (أو APP اختصارا). وتنغرز جزيئات الطليعة APP في غشاء الخلية بحيث يكون جزء من البروتين في داخل الخلية والجزء الآخر خارجها. ويقوم إنزيمان شاطران للبروتين (وهما البروتيازان: بيتا-سكريتاز(3) وگاما-سكريتاز(4)) باقتطاع النشواني بيتا من الطليعة APP، وهذه عملية تحدث فعليا في جميع خلايا الجسم. ومن غير الواضح سبب قيام بعض الخلايا بإنتاج النشواني بيتا، لكن الأدلة الحالية تشير إلى أن هذه السيرورة هي جزء من **مسار تأشير** signalling pathway.

إن قسما من منطقة النشواني بيتا للطليعة APP موجود داخل الغشاء الخلوي نفسه، بين طبقتيه الخارجية والداخلية. وبما أن الأغشية تتألف من ليپيدات كارهة للماء، فإن مناطق البروتينات التي تجتاز الأغشية تحتوي نمطيا على حموض أمينية مضادة للماء. فعندما ينبتر النشواني بيتا من الطليعة APP بوساطة بيتا وگاما سكريتاز وينطلق داخل الوسط المائي خارج الغشاء، فإن المناطق الكارهة للماء لمختلف جزيئات

نظرة إجمالية/ أمل جديد للمسنِّين(**)

- ركّز العلماء اهتمامهم على فرضية أن ببتيدا يدعى النشواني-بيتا A-beta يتسبب في تعطيل وموت الخلايا الدماغية لدى مرضى داء الزهايمر.
- يطوِّر الباحثون حاليا عقاقير تستطيع تثبيط إنتاج النشواني بيتا، كما يطورون معالجات تستطيع ثني هذا الببتيد عن إيذاء العصبونات.
- ثمة بضعة عقاقير مرشحة هي حاليا قيد الاختبار السريري لتقرير ما إذا كانت تستطيع إبطاء أو إيقاف التدهور العقلي القاسي الذي يسببه داء الزهايمر.

(*) The Amyloid Hypothesis
(**) Overview/ New Hope for the Old
(1) Alois Alzheimer
(2) short peptide
(3) beta-secretase
(4) gamma-secretase

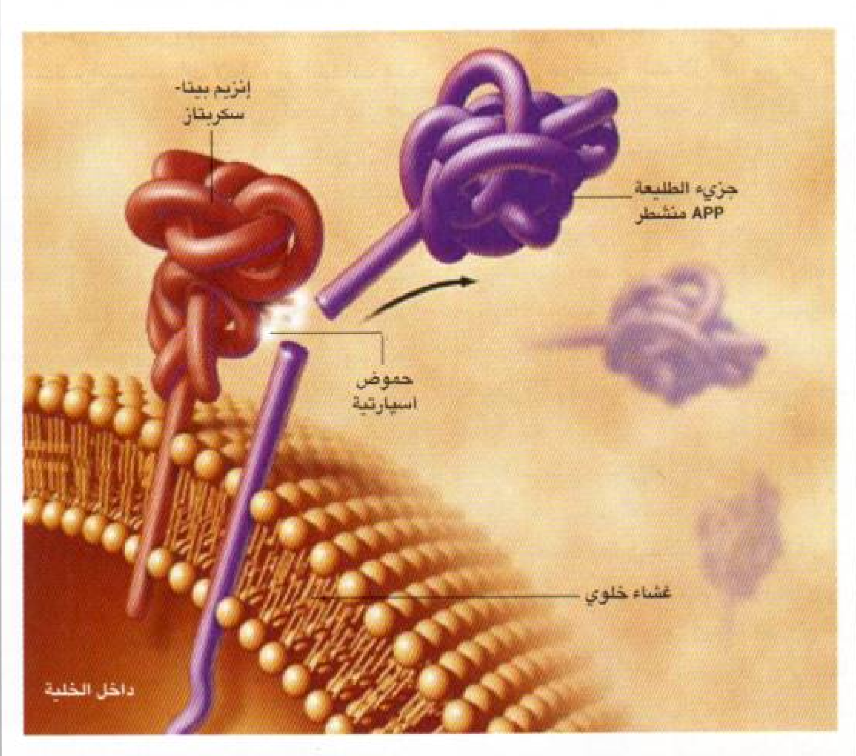
النشـواني بيتـا يتـلاصق بعضـها ببـعض لتشكّل تجمعـات صـغيرة ذوّابة. وفي بداية تسعينات القرن الماضـي، بيّن <T.P. لانسبوري جـونيـر> [الذي يعـمل حـاليـا في كليـة طب هارڤرد] أنه في حالة التراكيز العالية بالقدر الكافي، يمكن لجزيئـات النشـواني بيتـا في أنبوب الاختـبار أن تتجمعَ في بنى خيطيّة الشكل تشبـه تلك الموجـودة في لويحـات داء ألزهايمر. وتتصـف تجمّعات النشـواني بيتا الذّوابة وكذلك ألياف بأنها تُسَمّم العصبونات المسـتنبـتـة في أطبـاق بتـري[1]، وبأن هذه التجمعات تستطيع أن تتدخّل في سيرورات حديّة تخصُّ التعلمُ والذاكرة لدى الفئران.

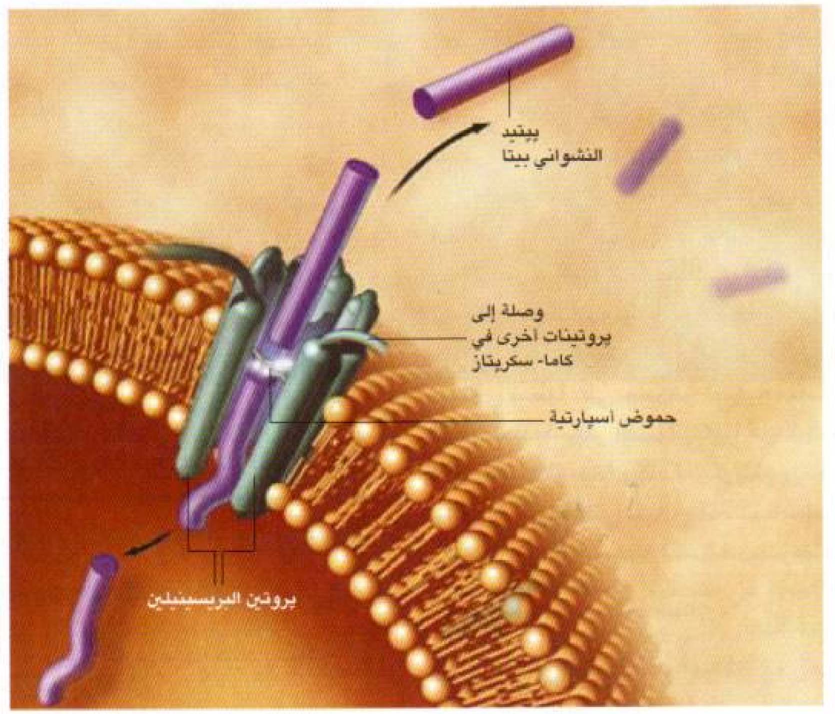
صـحـيح أن هذه المكتـشـفـات قد دعمت فرضية الشلال النشواني، لكن الدليل الأقوى جـاء من دراسـات على أُسَـر ذات خطورة عـاليـة للإصـابة بداء ألزهايمر. فأفـراد هذه العائلات يحملون طفرات جينيّة نادرة تؤهبهم لهذا المرض في عمر صـغير نسبيـا، وقبل سن الستين نمطيا. ففي عام 1991 اكتشف <J. هاردلي> [ويعمل حاليا في المعهد الوطني للشـيخوخة في الولايات المتـحدة] وزمـلاؤه أوّل مثل لهذه الطفرات في الجينة التي **تكوّد** encode الطليعة APP، وتؤثر على الخصوص في بقع البروتين الموجودة داخل وحَوْل منطقة النشواني. وسرعان ما وجد بعد ذلك كل من <D. سلكو> [من هارڤـرد] و <S. يونكين> [من مايوكلينيك في جاكسون فيل بولاية فلوريدا] (كل على حـدة) أن هذه الطفـرات تزيد من تشكيل النشـواني عموما أو نمط خاص منه هو عُـرضـة بشكل كـبير لتكوين ترسُّـبات. وأكثر من ذلك، فإن الأشخاص ذوي متلازمة داون[2] الذين يحـــملون ثـلاث نسـخ من الصِّبغي 21 بدلا من نسختين، معـرضـون أكثر من غيرهم للإصابة بداء ألزهايمر في منتـصف أعـمـارهم. وبما أن الصـبـغي 21 يحـتـوي على جـينة الطليـعـة APP، فـإن الأشخاص المصابين بمتلازمة داون يصنعون كـمـيـات أعلى من النشـواني منذ الولادة، ويمكن أن تظهر الترسـبات النشـوانيـة في أدمغتهم منذ بلوغهم سن الثانية عشرة.

وسـرعان مـا اكتـشف البـاحثـون روابط أخرى بين داء ألزهايمر وبين الجينات التي تنظّم إنتاج النشواني بيتا. ففي عـام 1995

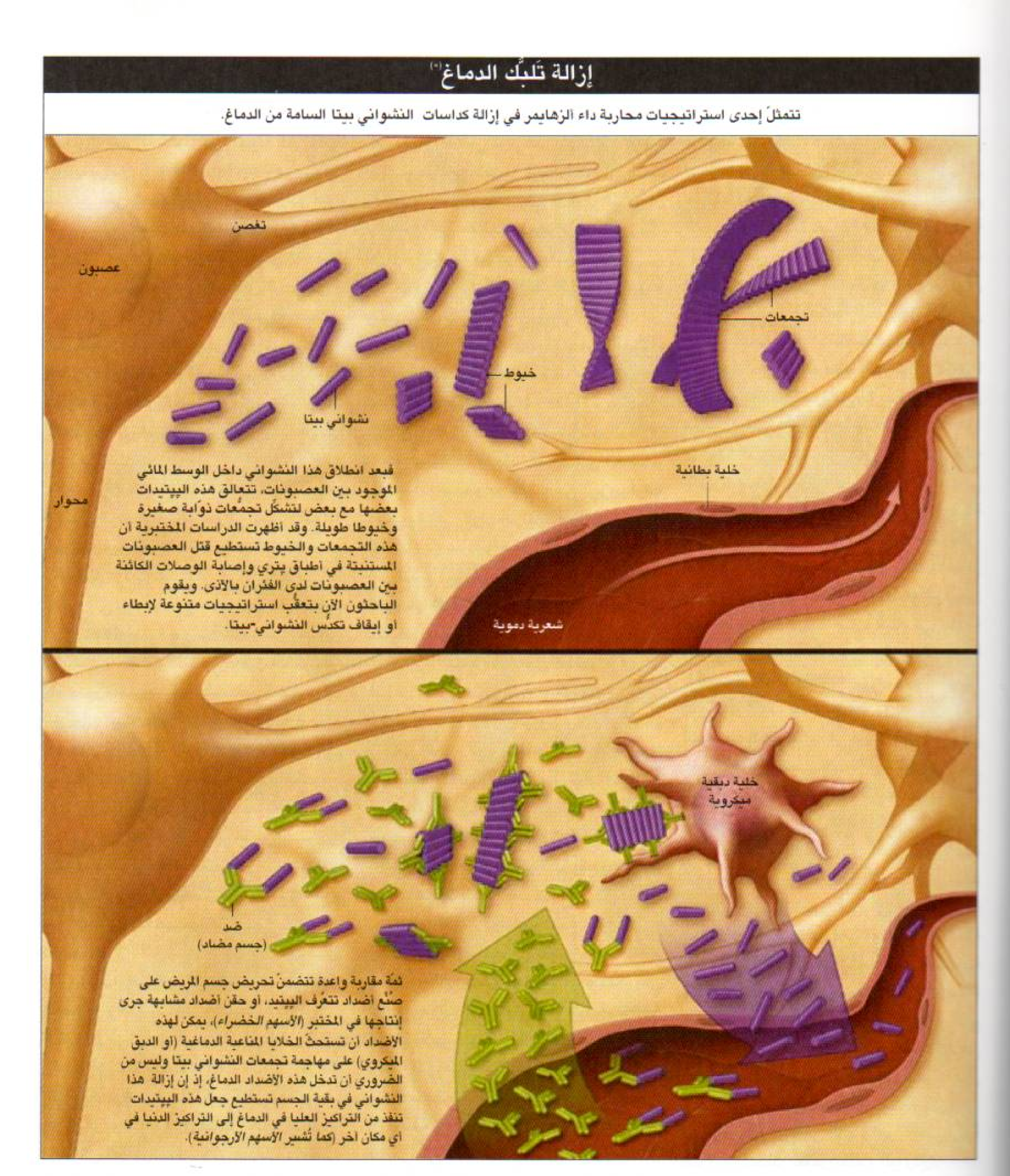
القطع الأقسى(*)

حسب فرضية الشلالّ النشواني، يبدأ داء الزهايمر بتكديس النشواني بيتا A-beta المقطوع من بروتين طليعة هذا النشوانيّ (APP). ففي الخطوة الأولى (*في الأعلى*) يعمد إنزيم يدعى بيتا سكربتاز إلى قصّ الطليعة APP في الجزء الواقع خارج الغشاء الخلوي وذلك بمساعدة الحموض الأسپارتية التي تجعل جزيئات الماء أكثر تفاعلا. ثم يقوم بروتين البريسينيلين، وهو أحد مكونات الإنزيم كاما-سكربتاز، بقطع الكتلة الباقية من الطليعة APP الموجودة داخل الغشاء الخلوي، مطلقا بذلك النشواني بيتا (*في أسفل الشكل*). وثمة عقاقير واعدة تثبط فعالية الإنزيم كاما-سكربتاز، وعقاقير أخرى تجعل هذا الإنزيم يقطع الطليعة APP في موقع مختلف بحيث يولد شكلا قصيرا أقل إيذاء من النشواني بيتا.





(*) The Unkindest Cut
(1) petri dishes
(2) Down syndrome



حـددَ <P. جـورج-هايسلوب> وزمـلاؤه [في جامعة تورونتو] طفرات في جينتين مترابطتين سُـميتـا بريسـينيلين 1 وبريسـينيلين 2[1] ويسببان أشكالا شرسة من داء ألزهايمر في وقت مبكر جدًا، إذ تظهر هذه الأشكال نمطيا حينما يكون حامله أو حاملته في الثلاثينات أو الأربعينات من العمر. وقد بيَّنت دراسات لاحقة أن هذه الطفرات تطيل جزء النشواني بيتا الأكثر عرضة للتكتلّ. ونعلم حاليا أن الپروتينات المكوَّدة بجينات *البريسينيلين* هي جزء من إنزيم كاما-سكريتاز.

وهكذا، تقـوم إحـدى الجـينات الثـلاث المعروفة بتسببيبها داء ألزهايمر في وقت مبكر بتكويد طليعة النشواني بيتا، في حين تخصص الجينتان الأخريان مكوِّنات إنزيم پروتيازي يساعد على تصنيع الپپتيد المؤذي. ثم إن العلماء وجدوا أن الأشخاص الذين

(*) Unclogging the Brain

(1) presenilin 1 و presenilin 2

من المحتمل جدا أن تؤدي تشكيلة من العوامل الجينية دورا في هجوم هذا المرض.

يحملون انحرافا معينًا في الجينة التي تكوِّد أپوليپوپروتين E apolipoprotein، وهو پروتين يساعد على تجميع پپتيدات النشواني بيتا في تكتلات وخيوط، كانوا أكثر عرضة للإصابة لاحقا بداء ألزهايمر. ومن المحتمل جدًّا وجود تشكيلة من العوامل تؤدي دورا في ابتداء هذا المرض، مع إسهامٍ صغيرٍ لكل منها؛ كما تشير الدراسات على الفئران أن العوامل البيئية يمكن أن تؤثر كذلك في خطورة هذا المرض (ونذكر أن التمارين الرياضية على سبيل المثال قد تقلل من هذه الخطورة).

ومازال العلماء لا يعرفون بدقة كيف تتمزق تجمعات النشواني بيتا الذوابة وخيوطه غير الذوابة فتقتل العصبونات. ومع ذلك، فإن الأدلة تشير إلى أن كداسات النشواني بيتا خارج عصبون ما تستطيع قدح شلاّل من الحوادث يتضمن تحوير پروتينات التاو tau في داخل الخلية. وبصورة خاصة، تستطيع كداسات النشواني بيتا هذه أن تغيِّر في نهاية المطاف الفعالية الخلوية لإنزيمات تدعى **كينازات** kinases تعمل على إدخال الفسفات في الپروتينات. فالكينازات المصابة تضيف كثيرا من الفسفات إلى التاو أكثر من اللازم، فتغير بذلك الخواص الكيميائية للپروتينات وتجعلها تشكّل خيوطا ملتفّة تقوم بدورها بقتل العصبون على نحو ما، ربما لكونها تمزِّق الأنيبيبات الميكروية التي تنقل الپروتينات وجزيئات كبيرة أخرى على طول المحاوير والتغصُّنات. ونشير هنا إلى أن الطفرات في جينة التاو نفسها تستطيع أيضا أن تولدَ خيوط تاو وتسببَ أنماطا أخرى من الأمراض التنكّسية إلى جانب داء ألزهايمر. وهكذا، فإن تشكُّل خيوط التاو (وهو في الظاهر حدث أكثر عمومية) يفضي إلى الموت العصبوني في حين أن النشواني بيتا هو مستهلٌّ نوعي لداء ألزهايمر.

تشديد المقص الجزيئي(*)

إذا أخذنا بالحسبان في سيرورة هذا الداء الدورَ الحدِّي للنشواني بيتا، تكون الپروتيازات التي تولدً هذا الپپتيد هدفا واضحا للعقاقير التي يمكن أن تثبط فعاليتها. فقد ثبت اعتبار مثبطات الپروتياز فعّالة جدا في معالجة اضطرابات أخرى مثل الايدز وفرط ضغط الدم. ونشير هنا إلى أن أول خطوة في تشكيل النشواني بيتا يبدؤها بيتا- سكربتاز الذي هو پروتياز يحذف من الطليعة APP الكتلة الموجودة خارج الغشاء الخلوي. وفي عام 1999 اكتشفت خمس مجموعات بحثية مختلفة هذا الإنزيم، الذي يتوافر بشكل خاص في عصبونات الدماغ. ومع أن بيتا ـ سكربتاز ينشدُّ إلى الغشاء، فإنه يشبه مجموعة جزئية من الپروتيازات موجودة في الأوساط المائية داخل وخارج الخلايا. إن عناصر هذه المجموعة الجزئية، التي تضم الپروتياز المتورِّط في استنساخ الڤيروس HIV، الذي يسبب الايدز، تعمد إلى استخدام حمض الأسپارتيك (وهو نمط من الحموض الأمينية) من أجل **تحفيز** catalyze تفاعل تقطيع الپروتين. ونشير في هذا الصدد إلى أن جميع الپروتيازات تستخدم الماء في تقطيع الپروتينات الخاصة بها، وتستخدم الإنزيمات في عائلة الپروتيازات الأسپرتية زوجا من الحموض الأسپارتية لتفعيل جزيء ماء من أجل هذا الغرض.

ولمّا كان بيتا- سكربتاز يقع بوضوح ضمن هذه العائلة، استطاع الباحثون استغلال المعرفة الواسعة بهذه الپروتيازات وصولا إلى فهم مفصّل جدا عن هذا الإنزيم والطريقة التي يمكن بها إيقاف عمله. وفي الواقع، يعرف الباحثون سلفا البنية الثلاثية الأبعاد للإنزيم بيتا- سكربتاز واستخدموها مرشدا لتصميم مبني على الحاسوب لعقاقير مثبِّطة محتملة. وتوحي الدراسات الجينيّة بأن **حَصْر** blocking نشاط هذا الإنزيم لن يفضي إلى تأثيرات جانبية مؤذية، إذ إن حذف الجينة التي تكوِّد بيتا- سكربتاز لدى الفئران أوقف تشكيل النشواني بيتا في أدمغتها من دون أن يسبِّب ذلك لديها أي عواقب سلبية ظاهرة. ولكن مثبِّطات بيتا- سكربتاز في الوقت الحاضر مازالت غير جاهزة بعد للتجريب السريري. ويكمن التحدي الرئيسي في إيجاد مركبات فعالة صغيرة بقدر كاف لاختراق الدماغ على نحو فاعل. ونذكر هنا أن الشعريات في الدماغ، خلافا للأوعية الدموية في أنحاء الجسم الأخرى، تبطنها خلايا بطانية محكمة الارتصاص. وبسبب قلة الثغرات بين هذه الخلايا، يجب على مثبطات الپروتياز أن تستطيع اجتياز الأغشية الخلوية وصولا إلى النُّسج الدماغية الكائنة خلف هذه الخلايا البطانية، حيث إن معظم الجزيئات الكبيرة لا تستطيع فتح ثغرة في ما يُسمى **الحائل الدموي الدماغي** blood - brain barrier.

أما الإنزيم المسمى گامّا-سكربتاز فإنه ينجز الخطوة الثانية في تشكيل النشواني بيتا المتمثلة في قطع الكتلة المتبقية من الطليعة APP بعد التشطّر الذي أحدثه بيتا-سكربتاز. فالإنزيم گاما-سكربتاز يحقِّق هذا الإنجاز غير العادي باستخدام الماء لقطع الپروتين الموجود داخل الوسط الكاره للماء في الجهة الأخرى من الغشاء الخلوي. وقد ثبتت أهمية اثنتين من **الدالات** clues في فهمنا لهذا الپروتياز. أولا، لقد وجد <B. دوستروپر> [من الجامعة الكاثوليكية في لوڤان ببلجيكا] في عام 1998 أن شطب الجينة بريسينيلين-1 في الفئران بشكل جينيٍ يقلل إلى حد بعيد قص الطليعة APP من قبل گاما-سكربتاز، الأمر الذي يبيِّن أن الپروتين الذي تكوِّده هذه الجينة أساسيٌ لعمل هذا الإنزيم. ثانيا، لقد اكتُشف في مختبري [يوم كنتُ في جامعة تينيسي بمدينة ممفس] أن مركبّات من الفئة الكيميائية نفسها كالمثبِّطات الكلاسيكية **للپروتيازات الأسبرتيليَّة** aspartyl proteases، تستطيع حصر التشطّر الذي يحدثه گاما- سكربتاز للطليعة APP في الخلايا. وتوحي هذه النتيجة بأن گاما-سكربتاز، مثله مثل بيتا-سكربتاز، يحتوي على زوج من الأحماض الأسپارتية ضروري لتحفيز تفاعل تقطيع الپروتين.

تأسيسا على هذه المشاهدات، افترضنا أن پروتين البريسينيلين قد يكون پروتيازا **أسپرتيليا** aspartyl استثنائيا مغروزا داخل حبكة الأغشية الخلوية. وبينما كنتُ في إجازة تفرُّغ للبحث العلمي أقضيها في جامعة هارڤرد، وبالتعاون مع <W. كسيا>،

(*) Clamping the Molecular Scissors

الضربة القاضية(*)

يقوم الباحثون أيضا بدراسة أساليب لإحصار المراحل الأخيرة من الشلال النشواني لدى مرضى داء الزهايمر.



حدَّدنا هوية حمضين **أسپارتيين** aspartic في البريسينيلين الذي تنبأنا بأنه يقع داخل الغشاء، وبينَّا أن هذين الحمضين أساسيان لتَشطُّر كاما-سكربتاز الذي يولد النشواني بيتا. كما بيَّنا لاحقا نحن وآخرون غيرنا، أن مثبِّطات الإنزيم كاما-سكربتاز ترتبط مباشرة بالبريسينيلين وأن ثلاثة پروتينات أخرى مطمورة بالغشاء يجب أن تتجمَّع مع البريسينيلين لتتيح له أن يقوى على التحفيز. ويُعترف اليوم بأن كاما-سكربتاز هو عنصر مؤسس في صف جديد من البروتيازات يستعمل الماء بمهارة داخل الأغشية الخلوية لتحقيق مهماتها الحيوية الكيميائية. وأكثر من ذلك، تعتبر مثبِّطات الإنزيم كاما-سكربتاز جزيئات صغيرة نسبيا تستطيع التغلغل داخل الأغشية لتتمكن من اقتحام الحائل الدموي الدماغي.

(*) The Fatal Blow

وقبل سنتين تحدثت إلى طلبة الصف الخامس، ومن بينهم أصغر أبنائي، حول العمل في مختبري شارحا موضوع النشواني وكيف نأمل في حَصْر الإنزيمات المسؤولة بغية اكتشاف أدوية جديدة لداء ألزهايمر. وقد قاطعني أحد الطلبة سائلا: «ولكن ماذا لو كان ذلك الإنزيم يفعل شيئا ما مهما؟ ربما يؤدي حجزه إلى إيذاء صاحبه!» إن هذا القلق الذي ساور ابن العاشرة عمرا هو قلق حقيقي جدا: إذ إن إمكانية أن يكون گاما-سكربتاز هدفا علاجيا تعيقها الآن حقيقة كون هذا الإنزيم يؤدي دورا حديًا في نضج **خلايا سليفة** precursor cells غير متمايزة في أنحاء مختلفة من الجسم، مثل الخلايا الجذعية في نقي العظام التي تتطور إلى خلايا دموية حمراء وخلايا لمفاوية. وعلى وجه التحديد، يَقصُّ الإنزيم گاما-سكربتاز پروتينا خلويا سطحيًا يدعى **مُسْتقبِل نوتش** Notch receptor، وتنطلق قطعة النوتش من الغشاء إلى داخل الخلية ثم ترسل إشارة إلى النواة التي تتحكم في مصير الخلية.

تسبِّب الجرعات العالية من مثبِّطات گاما-سكربتاز تأثيرات سميَّة شديدة لدى الفئران، وذلك نتيجة لتعطُّل **الإشارة النوتشية** Notch signal، مما يثير قلقا خطيرا بخصوص هذه المعالجة المحتملة. ورغم ذلك، نجحت الشركة Eli lilly المصنعة للأدوية في اختبارات سلامة مادة دوائية مرشحة على متطوعين. (ويدعى هذا النوع من الاختبار **الطور الأول** phase I للتجريب السريري). ويتهيأ هذا المركب الآن لدخول المستوى الثاني من الاختبار (**الطور الثاني** phase II) على مرضى مصابين بداء ألزهايمر المبكر. فضلا عن ذلك، حدَّد الباحثون هوية جزيئات تستطيع تحوير گاما-سكربتاز على نحو يعيق إنتاج النشواني-بيتا من دون أن يؤثر في تشطُّر النوتش Notch. ولا تتأثر هذه الجزيئات مع الحموض الأمينية لگاما-سكربتاز، بل عوضا عن ذلك ترتبط بمكان آخر على الإنزيم وتغير شكله.

تستطيع بعض المثبِّطات أن تحجِّم بشكل نوعي نسخة النشواني-بيتا الأكثر ميلا إلى التكدس، وذلك لصالح پپتيد أقصر لا يتكتل بتلك السهولة. وقد تبين أن أحد هذه الأدوية (وهو الفلوريزان Flurizan) (قام بتحديد هويته فريق بحث برئاسة <E. كو> [من جامعة كاليفورنيا] و <T. گولد> [من مايوكلينيك]) واعد إلى حد كبير لدى مرضى المرحلة المبكرة من داء ألزهايمر، ويدخل الآن **الطور الثالث** Phase III الأكثر تقدمًا في التجريب السريري الذي سيشمل ما ينوف على ألف من هؤلاء المرضى على امتداد الولايات المتحدة الأمريكية.

تنقية الدماغ من التجمعات السامة[*]

ثمة استراتيجية أخرى لمكافحة داء ألزهايمر تتمثل في تنقية الدماغ من تجمّعات النشواني بيتا السامة بعد إنتاج الپپتيد. وتتمثل إحدى المقاربات في **التمنيع الفعّال** active immunization الذي يتضمن تجنيد الجهاز المناعي للمريض من أجل غزو النشواني-بيتا. وفي عام 1999، حقق <D. شنك> وزملاؤه [في شركة إيلان من ساوث سان فرانسيسكو] اكتشافا خارقا: فحقن النشواني بيتا داخل فئران مُهَنْدسَة وراثيا من أجل تطوير لويحات نشوانية، أدى إلى تنشيط استجابة مناعية أوقفت تشكيل اللويحات في أدمغة الفئران الصغيرة وأزالت اللويحات التي كانت موجودة في الفئران المسنة. فقد أنتجت هذه الفئران **أضدادا** antibodies تعرَّفت النشواني بيتا، ومن ثم حثت هذه الأضداد على ما يبدو الخلايا المناعية الدماغية (أي **الدبق الميكروي** microglia) على مهاجمة كداسات الپپتيد (*انظر الإطار في الصفحة 41*). وسرعان ما قادت النتائج الإيجابية في الفئران، والتي تضمنت تحسين التعلُّم والذاكرة، إلى إجراء الاختبار على البشر.

لسوء الحظ، فمع أن حقن النشواني بيتا اجتاز اختبارات السلامة الأولى، نجد أن بضعة مرضى قد ظهر لديهم في اختبارات الطور الثاني **التهاب الدماغ** encephalitis، مما استدعى إيقاف هذه الدراسة في عام 2002 قبل الأوان. وأشارت أبحاث المتابعة إلى أن هذا العلاج قد يكون سبَّب الالتهاب عن طريق حث الخلايا التائية التابعة للجهاز المناعي على القيام بغزوات شرسة على ترسبات النشواني بيتا. ومع ذلك، فقد أكّدت التجارب أن العديد من المرضى أنتجوا أضدادا للنشواني-بيتا، وأن أولئك الذين تولّدت لديهم هذه الأضداد أظهروا تحسنًا في الذاكرة والانتباه.

لقد أدّت مخاوف السلامة بخصوص التمنيع الفعّال إلى قيام بعض الباحثين بتجارب على **التمنيع المنفعل** passive immunization، الذي يهدف إلى إزالة الپپتيد عن طريق حقن أضداد في أجساد المرضى. وهذه الأضداد التي جرى إنتاجها في خلايا فأرية وجرى هندستها وراثيا بحيث لا ترفضها أجساد البشر، لا يبدو أنها سوف تسبب التهاب الدماغ، لأنها لن تستنفر استجابة مؤذية من جانب الخلايا التائية في الدماغ. وقد وصلت المعالجة بالتمنيع المنفعل (التي طورتها الشركة Eli lilly) إلى الطور الثاني من الاختبارات السريرية.

وإلى حد ما، مازال الغموض يكتنف مقدار استطاعة التمنيع الفعال أو المنفعل في إزالة النشواني بيتا من الدماغ، إذ لم تتضح بعد درجة فعالية عبور الأضداد للحائل الدموي الدماغي. فهناك بعض الأدلة التي توحي بأن هذا الدخول إلى داخل الدماغ غير مطلوب: بمعنى أن تشريب النشواني بيتا في أنحاء الجسم قد يفضي إلى رحيل هذا الپپتيد من الدماغ، لأن الجزيئات تنحو إلى الانتقال من

يوما بعد يوم، يستشعر العلماء الأمل في قهر داء ألزهايمر، مع أن «الأمل» كلمة لا تصاحب عادة هذا الداء.

(*) Clearing the Cobwebs

التركيز الأعلى إلى التركيز الأخفض. ومع أن التمنيع المنفعل يبدو الآن أنه الواعد الأكثر، فإن التمنيع الفعّال مازال يحظى ببعض الاعتبار، إذ تظهر دراسات أولية، يجريها زميلي في هارفرد <C. ليمير>، أن التمنيع بأجزاء منتقاة من النشواني بيتا بدلا من كامل الپپتيد يستطيع تنبيه الخلايا البائية المولدة للأضداد في الجهاز المناعي بدون استنفار الخلايا التائية المسؤولة عن التهاب الدماغ.

ويتابع باحثون آخرون استراتيجيات غير مناعية لإيقاف تكدّس النشواني بيتا. وقد حددت بضع شركات هوية مركّبات تتآثر مباشرة مع هذا النشواني لإبقاء الپپتيد بحالة ذوبان في السائل الموجود خارج العصبونات الدماغية، مما يمنع تشكيل تكتلات مؤذية. وتطور حاليا الشركة نيوروشيم Neurochem في كويبك (كندا) مركبا اسمه ألزهيميد Alzhemed، وهو جزيء صغير يحاكي بوضوح مضاد التخثّر الطبيعي المسمى هيپارين heparin. والهيپارين يمنع الصفيحات في الدم من التكتّل في **جلطات** clots، ولكن حينما يرتبط متعدد السكريدات هذا بالنشواني بيتا، فإنه يجعل الپپتيد أكثر ميلا إلى تشكيل ترسبات. وبما أن ألزهيميد يرتبط بالمواقع نفسها على النشواني بيتا، فإنه يحصر فعالية الهيپارين، ومن ثم يخفّض تكدس الپپتيد. ولم يبد هذا المركب أي سمية (أو القليل منها) حتى في حالة الجرعات العالية جدا، وقد حققت المعالجة به بعض التحسن لدى المرضى المصابين إصابة خفيفة بداء ألزهايمر. هذا وإن اختبارات الطور الثالث السريرية لهذا العقار المرشح هي قيد الإجراء حاليا.

استهداف التاو(*)

لكن النشواني لا يشكل سوى نصف مشكلة داء ألزهايمر. والنصف الآخر، المتمثل في **خيوط التاو** tau filaments التي تسبب الحبائك العصبونية، يعتبر كذلك هدفا واعدا لمنع تنكس عصبونات الدماغ. ويركز الباحثون اهتمامهم بشكل خاص على تصميم مثبِّطات تستطيع حصر الكينازات التي تضع كمية زائدة من الفسفاتات فوق التاو، وتلك خطوة لا غنى عنها في تشكل الخيوط. صحيح أن هذه الجهود مازالت لم تقدّم أي عقاقير مرشّحة إلى الاختبارات السريرية، ولكن الأمل معقود بأن تتضافر في نهاية المطاف مثل هذه المركّبات مع المركبات التي تستهدف النشواني بيتا.

وكذلك يستكشف الباحثون حاليا ما إذا كانت العقاقير المخفِّضة للكولستيرول والتي تدعى **الستاتينات** statins (وهي مركبات واسعة الاستخدام لتقليل خطورة الأمراض القلبية)، يمكن أن تصبح علاجا لداء ألزهايمر أيضا. فالدراسات الوبائية توحي بأن الناس الذين يتناولون الستاتينات تكون خطورة إصابتهم بداء ألزهايمر أقل من غيرهم، ولكن سبب هذا الترابط غير واضح كليا. فبتخفيض مستويات الكولستيرول، قد تخفّض هذه العقاقير إنتاج الطليعة APP، أو ربما تؤثر بشكل مباشر في تشكل النشواني بيتا وذلك عن طريق تثبيط فعالية السكريتازات المسؤولة. وتحاول حاليا اختبارات الطور الثالث أن تتحقق ما إذا كانت الستاتينات، مثل عقار ليپتور liptor الذي تنتجه الشركة فايزر، تستطيع حقا أن تمنع داء ألزهايمر.

وثمة تطور مثير حديث يتضمّن **المعالجة الخلوية** cell therapy. فقد أخذ <M. توزنسكي> وزملاؤه [في جامعة كاليفورنيا بسانديكو] خزعات جلدية من مرضى مصابين بداء ألزهايمر خفيف وغرزوا الجينة المكودة لعامل النمو العصبي NGF داخل هذه الخلايا، ثم وضعوا جراحيا الخلايا المحورة جينيا داخل الدماغ الأمامي لهؤلاء المرضى. وكانت فكرتهم تتلخص في أن هذه الخلايا المغروسة سوف تولّد وتفرز العامل NGF، فتمنع بذلك فقدان العصبونات المولِّدة للأستيلكولين وتحسِّن بالتالي الذاكرة. لقد كانت المعالجة المبنية على الخلايا استراتيجية ذكية لإيصال العامل NGF، الذي هو پروتين كبير لا يستطيع بغير ذلك اقتحام الدماغ. ومع أن هذه الدراسة لم تشمل إلا عددا قليلا من الأشخاص وافتقرت إلى ضوابط مهمة، فقد أظهرت أبحاث المتابعة تباطؤا في **التراجع المعرفي** cognitive declin. وقد اعتبرت النتائج جيدة بما يكفي لتبرير متابعة الاختبارات السريرية.

ومع أن بعض هذه المعالجات المحتملة قد لا يلبي طموح العلماء، فإنهم يأملون العثور على مادة واحدة على الأقل تستطيع فعليا أن تخفض أو توقف الفقد التدريجي للعصبونات في الدماغ. ومثل هذا الاختراق العلمي قد ينقذ أرواح ملايين الناس من التدهور المعند الذي يتصف به داء ألزهايمر ويمهِّد الطريق لدواء تجديدي يستعيد الوظائف العقلية المفقودة.

صحيح أن استهداف النشواني بيتا يمكن أن يوقف هجوم داء ألزهايمر أو يؤخِّر ظهوره، ولكن يبقى من غير الواضح ما إذا كانت هذه الاستراتيجية ستعالج أو تشفي أولئك المصابين بمراحل متقدمة من ذلك المرض. وعلى كل حال، لايزال لدى الباحثين أسباب تستدعي التفاؤل الحذر. وقد أقنعت التجاذبات الحديثة في الاكتشافات الكثير منا بأن تنقيبنا عن طرق لمنع داء الزهايمر ومعالجته لن يكون ضربا من العبث. ■

(*) Targeting Tau

المؤلف

Michaed S. Wolfe

أستاذ علم الأعصاب المشارك في مستشفى النساء بكلية طب هارفرد، حيث تركّز أبحاثه على فهم الأساس الجزيئي لمرض الزهايمر وتحديد الاستراتيجيات العلاجية الفعالة. حصل على الدكتوراه في الكيمياء الطبية من جامعة كنساس. وأسس في مطلع هذا العام مختبرا لعقاقير الزهايمر التجريبية في كلية طب هارفرد. ويتخصص هذا المختبر بتطوير جزيئات واعدة في عقاقير لداء الزهايمر.

مراجع للاستزادة

Decoding Darkness. Rudolph E. Tanzi and Ann B. Parson. Perseus Books Group, 2000.

Hard to Forget: An Alzheimer's Story. Charles Pierce. Random House, 2000.

Therapeutic Strategies for Alzheimer's Disease. Michael S. Wolfe in *Nature Reviews Drug Discovery*, Vol. 1, pages 859–866; November 2002.

More information can be found online at **www.alz.org** and **www.alzforum.org**

Scientific American, May 2006

إحباط الإرهاب النووي(*)

يحتوي الكثير من المفاعلات النووية المدنية على يورانيوم عالي التخصيب يمكن أن يستغله إرهابيون لصنع قنابل نووية.

<A. كلازر> ـ <F. N. فون هيبل>

احتوت القنبلة التي أحرقت مدينة هيروشيما اليابانية في نهاية الحرب العالمية الثانية على نحو 60 كيلوغراما من اليورانيوم التسلسلي التفاعل. وعندما فرقعت المتفجرة الأمريكية «الصبي الصغير»(1) فوق المرفأ المشؤوم أطلق قسم من شحنة القنبلة ـ دون الكتلة الحرجة ـ على القسم الآخر بوساطة آلية بسيطة نسبيا تشبه آلية البندقية، مما سبَّب زيادة كتلة اليورانيوم 235 في القسمين عن الكتلة الحرجة وانفجارها بقوة تعادل خمسة عشر ألف طن من مادة الـTNT. أمَّا القنبلة التي دمَّرت ناگازاكي بعد ذلك بعدة أيام فقد استعملت شحنتها المنفجرة البلوتونيوم بدلا من اليورانيوم، مما تطلّب استعمال تقانة أكثر تعقيدا لتفجيرها.

ورغم إنتاج أكثر من مئة ألف سلاح نووي من قبل دول قليلة وبعض حلفائها خلال الستين سنة التي تلت الحرب العالمية الثانية لم يحدث حتى الآن أيُّ تدمير نووي مشابه، اللهم إلا ما يظهر اليوم من تهديدات مخيفة إضافية، حيث يمكن لمنظمة إرهابية محليَّة مثل «القاعدة» أن تحصل على اليورانيوم العالي التخصيب(2) وتنشئ صاعقا بسيطا من نمط البندقية، ثمَّ تستعمل السلاح النووي الناتج ضدَّ هدف مدني. واليورانيوم العالي التخصيب هو فلز اليورانيوم الذي تبلغ فيه نسبة اليورانيوم 235 (وهو النظير القادر على تغذية التفاعل التسلسلي النووي) نحو 20% من وزنه على الأقل.

إنَّ الهندسة التي يتطلبها بناء قنبلة ذرية من نمط البندقية بسيطة للغاية إلى حدٍّ أنَّ الفيزيائيين الذين صمَّموا «الصبي الصغير» لم يُجروا اختبارا نوويا على التصميم قبل إلقاء المتفجرة، إذ لم يكن لديهم أدنى شك في انفجارها بمجرد قدح زناد «البندقية». ولذلك يُقرُّ الخبراء بأنه في مقدور مجموعة إرهابية منظَّمة جيدا إنتاج آلية حسنة الأداء من نمط البندقية. وفي الحقيقة، أبدى بعض هؤلاء الخبراء مخاوف في محلِّها حول إمكان اختراق بعض الانتحاريين لمنشآت تخزين اليورانيوم العالي التخصيب وإنشاء ما يشبه الجهاز النووي المرتجل، ثمَّ تفجيره قبل أن يتمكَّن الحراس من التصدي لهم.

ومع أن إنتاج اليورانيوم العالي التخصيب بعيد عن متناول الهيئات غير الحكومية، فإن حيازته من خلال السرقة أو الشراء من السوق السوداء ليست كذلك، فالأرض مطمورة بنحو 1800 طن من هذه المادة التي تمَّ تخصيبها أثناء الحرب الباردة بوساطة الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوڤييتي أساسا، حيث يمكن حاليا العثور على اليورانيوم العالي التخصيب في مواقع عسكرية ومدنية على حدٍّ سواء. لكننا سوف نركز اهتمامنا على اليورانيوم العالي التخصيب المتوافر في المنشآت المدنية، أو المراد استخدامه كوقود في المفاعلات النووية البحثية. وسنُعنى بصورة خاصة باليورانيوم العالي التخصيب المدني لأنه

نظرة إجمالية/ حماية اليورانيوم 235 في الاستخدامات المدنية(**)

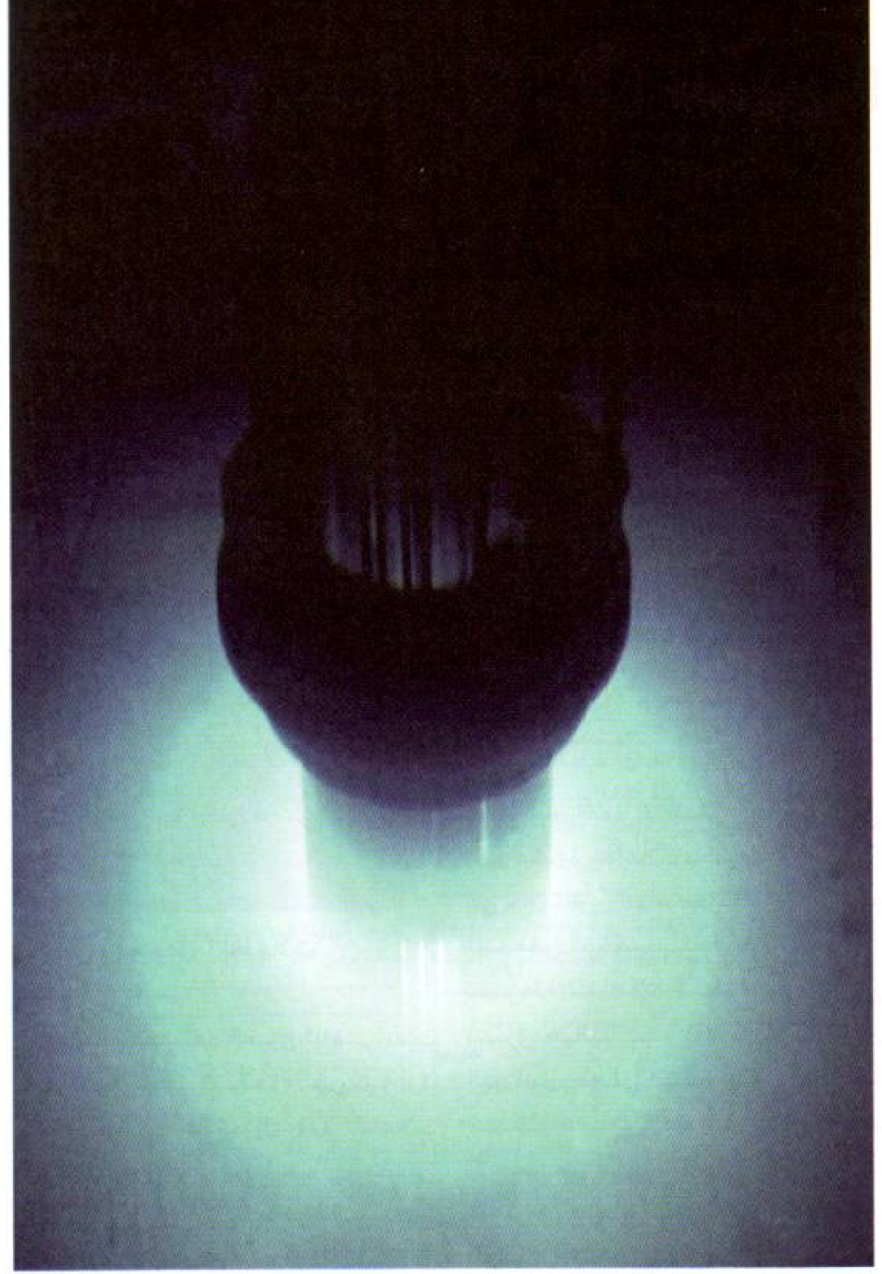
- يمكن للإرهابيين الذين حصلوا على أقل من 100 كيلوغرام من اليورانيوم العالي التخصيب بناء قنبلة ذرية بدائية (ولكن فعالة) وتفجيرها بشيء من السهولة. كما أن اليورانيوم العالي التخصيب جذاب بالنسبة للدول التي تبحث في الخفاء عن تطوير أسلحة نووية أيضا من دون إجراء اختبارات عليها.
- لسوء الحظ، غالبا ما تُخزن كميات كبيرة من اليورانيوم العالي التخصيب في منشآت الأبحاث النووية عبر العالم (بشكل خاص في روسيا) ضمن شروط أمن.
- أقامت الولايات المتحدة الأمريكية وحلفاؤها برامج لمساندة الإجراءات الأمنية ولتحويل المفاعلات لاستعمال اليورانيوم المنخفض التخصيب (الذي لا يمكن استعماله في الأسلحة) ولاستعادة اليورانيوم العالي التخصيب من المفاعلات النووية عبر العالم، ومع ذلك تظل بعض الثغرات الخطرة موجودة.
- يمكن أن يحرز اهتمام حكومي عالي المستوى، مع بعض الدعم المادي تقدما حثيثا في حلٍّ هذه المشكلة تماما.

(*) THWARTING NUCLEAR TERRORISM
(**) Overview/Securing Civilian Uranium 235
(1) Little Boy
(2) Highly Enriched Uranium (HEU)

محروس بحماية أقلّ من حماية المخازن العسكرية. (وقود اليورانيوم المستعمل في توليد الكهرباء في مفاعلات الطاقة النووية يكون مخصّبا بقدر طفيف يراوح بين 3 و5% من وزنه من اليورانيوم 235).

يتوافر أكثر من خمسين طنا من اليورانيوم العالي التخصيب في الاستعمال المدني منتشرة حول العالم لتزويد نحو 140 مفاعلا تستعمل في الأبحاث العلمية أو الصناعية أو في إنتاج نظائر مشعة لازمة لأغراض طبية. وغالبا ما توجد هذه المنشآت في مناطق حضرية وتكون محمية بأقلّ قدر ممكن من الحراسة والمنظومات الأمنية. وأكثر ما يدعو إلى القلق هو مجمّعات المفاعلات الروسية المزوّدة باليورانيوم العالي التخصيب، فهي تشكّل ثلث عدد المفاعلات في العالم ويوجد فيها ما يزيد على نصف مجموع اليورانيوم العالي التخصيب المدني.

من الضروري تحسين منظومات الأمن [*انظر الإطار في الصفحة 52*]. لكن الحلّ الأكثر فعالية على المدى الطويل لمواجهة الخطر الذي يفرضه الإرهاب النووي يتمثل في إقصاء استعمال اليورانيوم العالي التخصيب بقدر الإمكان والتخلص من المخزونات المتراكمة، ثمّ إنه يجب تخفيف اليورانيوم العالي التخصيب الذي نحصل عليه باليورانيوم 238 (وهو أكثر نظائر اليورانيوم التي لا يمكنها تعزيز تفاعل تسلسلي) لإنتاج ما يسمّيه الاختصاصيون اليورانيوم المنخفض التخصيب(1) (وهو يحتوي على أقل من 20% من اليورانيوم 235) الذي لا يمكن استعماله في الأسلحة.



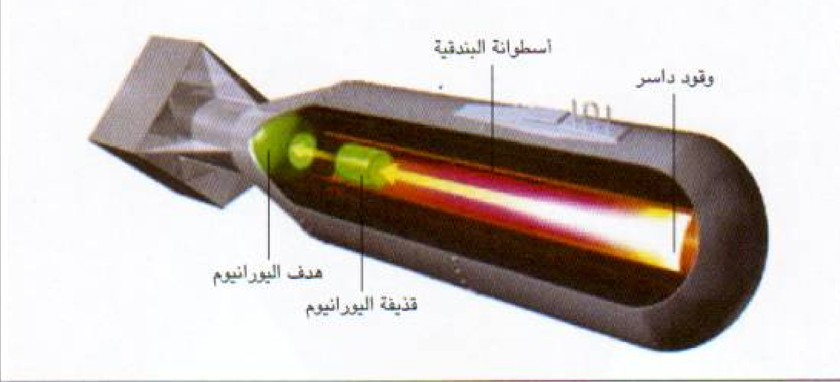
إنّ الوهج اللازوردي اللون لإشعاع شرنكوف في حوض التبريد المائي لمفاعل الأبحاث النووية يشير إلى تغذية المنظومة بالوقود النووي وأنها قيد العمل. وفي العديد من الحالات تتساهل المنشآت المدنية في تطبيق الإجراءات الأمنية لحماية وقود اليورانيوم العالي التخصيب، مما يفسح المجال أمام سرقة هذه المواد أو استيلاء المجموعات الإرهابية عليها.

يرجع منشأ اليورانيوم العالي التخصيب في الكثير من المنشآت المدنية إلى جهود التنافس بين الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفييتي خلال فترة الخمسينات والستينات من القرن الماضي التي تعرف بحقبة «الذرة من أجل السلام». ولما كانت القوتان العظميان للحرب الباردة قد بنيتا المئات من المفاعلات البحثية لأنفسهما، فقد قدمتا في الوقت نفسه هذه المنشآت إلى نحو خمسين دولة لنيل تأييدها السياسي ولإنشاء تقانات مفاعلاتها في الخارج. وتمّ لاحقا تخفيف قيود التصدير، استجابة للاحتياجات إلى وقود نووي لفترات أطول، وهذا ما أدى إلى تزويد معظم المفاعلات البحثية باليورانيوم العالي التخصيب المستعمل في القنابل الذي كان ينتجه الندّان بكميات كبيرة للأسلحة النووية. وتحتوي هذه المادة العالية التركيز على نحو 90% من اليورانيوم 235. وبحلول نهاية عام 2005 يبقى نحو 10 أطنان مترية من اليورانيوم العالي التخصيب المستعمل في القنابل متوافرا عند دول لا تملك أسلحة

(1) Low-Enriched Uranium (LEU)

مخطط قنبلة(*)

إذا حصل الإرهابيون على 60 كيلوغرام من اليورانيوم العالي التخصيب فسيكون بإمكانهم عمل قنبلة نووية شبيهة بقنبلة «الصبي الصغير» التي دكّت هيروشيما في نهاية الحرب العالمية الثانية (*المخطط في الأسفل*). يمكن لصانعي القنبلة وضع كتلة دون الكتلة الحرجة من اليورانيوم على شكل قذيفة ووضعها في مواجهة كمية من الوقود الداسر في النهاية القصوى للأسطوانة المغلقة. ويوضع باقي اليورانيوم (ذو كتلة دون حرجة أيضا) في النهاية القصوى الأخرى لأسطوانة «البندقية». وبسبب قدح الوقود إرسال القذيفة إلى الجانب الآخر من الأسطوانة بحيث ترتطم بعنف بكتلة اليورانيوم الثانية. وهكذا يصبح مجموع الكتلتين أعلى من الكتلة الحرجة مما يحدث تفاعلا تسلسليا نوويا متفجرا.



نووية، وهذا ما يكفي لصنع ما يراوح بين 150 و 200 متفجرة نووية.

تحويل المفاعلات(**)

في سبعينات القرن الماضي بدأت حكومة الولايات المتحدة الأمريكية أولا باتخاذ خطوات لمنع تحويل وقود المفاعلات البحثية التي صدَّرتها خلال العقدين السابقين إلى أسلحة نووية. وبهذا الخصوص أطلقت وزارة الطاقة عام 1978 برنامج مفاعلات الأبحاث والتجارب المقلَّصة التخصيب[1] لتحويل المفاعلات الأمريكية التصميم بحيث يمكنها العمل بوساطة وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب. ومع نهاية عام 2005 تمَّ تحويل 41 وحدة منها، حيث تلقَّت هذه المنشآت المحوَّلة مجتمعة شحنات تصل إلى نحو 250 كيلوغرام من اليورانيوم العالي التخصيب المستعمل في القنابل من الولايات المتحدة الأمريكية كلَّ سنة.

يتمُّ حاليا استبدال أو التخطيط لاستبدال اثنين وأربعين مفاعلا إضافيا تستخدم اليورانيوم العالي التخصيب. ولسوء الحظ لن يكون ممكنا الانتقال إلى وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب في نحو عشرة مفاعلات بحثية عالية الطاقة إلى حين تطوير أنماط جديدة من اليورانيوم المنخفض التخصيب بأداء يناسب عملها. تضمُّ هذه المفاعلات العالية الطاقة (التي تحرق حاليا نحو 400 كيلوغرام من اليورانيوم العالي التخصيب كل عام) لبًّا مدمجا مصمما بحيث تزيد إلى الحد الأعظمي من تدفق النيوترونات في تجارب **تبعثر** scaltering النيوترونات أو اختبارات المواد التي تتطلب مستويات تشعيع عالية. ولا يعمل الوقود المعتمد على اليورانيوم المنخفض التخصيب بشكل مُرض ضمن لبِّ المفاعلات المدمجة المصمَّمة أصلا لوقود اليورانيوم العالي التخصيب.

لتقليص أثر التحويل في تصاميم المفاعلات العالية الطاقة إلى أدنى حد ممكن يحتاج الباحثون في برنامج مفاعلات الأبحاث وفي التجارب المقلَّصة التخصيب إلى تصنيع وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب بالهندسة وزمن الحياة نفسهما كما في وقود اليورانيوم العالي التخصيب، ولكنَّ ذلك يشكِّل تحدّيا تقانيا كبيرا. وبسبب وجود نحو أربع ذرات يورانيوم 238 مقابل كل ذرة يورانيوم 235 في اليورانيوم المنخفض التخصيب فإنَّ على مصممي وحدات الوقود زيادة كمية اليورانيوم في وحدات وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب بنحو خمس مرات دون زيادة أبعادها. وبعد مضي سنوات من العمل، يشارف البرنامج الصغير لتطوير وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب على التحكم في طرائق صناعة جيل جديد واعد من الوقود العالي الكثافة.

استرداد الوقود الصالح لصنع الأسلحة(***)

بدأت الولايات المتحدة في التسعينات من القرن الماضي بالتعاون مع روسيا في حماية مخزونات اليورانيوم العالي التخصيب والتخلص منها. وقد حفَّز هذا المجهود ظهور سرقات وقود اليورانيوم العالي التخصيب غير المستعمل بعد في روسيا وجمهوريات الاتحاد السوفييتي السابق، وعادة ما كانت السرقة تسجَّل من قبَل الحكومات عند استعادة المادة فقط، ولا أحد خارج روسيا (وربما في داخلها) يعرف كمية المواد المسروقة.

وللحدِّ من كمية اليورانيوم العالي التخصيب في روسيا والتي توجد في متناول أشخاص لا صلاحية لهم في ذلك، أنشأت الولايات المتحدة عام 1999 برنامج تجميع المواد وتحويلها لحيازة نحو 17 طنا من الفائض الروسي لليورانيوم العالي التخصيب المدني ثمَّ مزجها. ومع حلول نهاية عام 2005 تمَّ تخفيف نحو سبعة أطنان إلى مستويات عشرين في المئة من محتواها من اليورانيوم 235.

ويركِّز مجهود آخر على الوقود المستنفد للمفاعل من اليورانيوم العالي التخصيب[2]. وعلى الرغم من استهلاك نصف كمية اليورانيوم 235 عبر تفاعل الانشطار النووي التسلسلي داخل لبِّ

(*) Blueprint for a Bomb
(**) Convert Reactrors
(***) Retrieve Weaponizable Fuel
(1) Reduced Errichment for Research and Test Reactors (RERTR) program
(2) spent HEU reactor fuel

المفاعل فإنَّ الوقود المستعمل يُنزع بعد مضي وقت معيَّن وتظل نسبة اليورانيوم 235 تشكِّل 80 في المئة من اليورانيوم المتبقي، أي التركيز ذاته لليورانيوم المستعمل في الشحنة الذرية لقنبلة هيروشيما.

يظلُّ الوقود المستنفد سنوات عديدة بعد نزعه من المفاعل في حماية ذاتية من السرقة، فهو مشعٌّ جدا بحيث إنه يميت من يحاول التعامل معه في غضون ساعة من الزمن. ويعالج الفنيون النوويون هذه المادة بوسائل التحكُّم عن بعد فحسب وهم يحمون أنفسهم بدروع سميكة، حيث تقلُّ شدة خطر الإشعاع مع الزمن. فبعد نحو 25 سنة تحدث الجرعة المميتة، التي تصيب شخصا يتعامل عن قرب مع كتلة من وقود مفاعل بحثي تبلغ نحو خمسة كيلوغرام، في غضون خمس ساعات عند نصف عدد الأشخاص المعرَّضين للإشعاع. وعند هذه المرحلة يقرُّ الخبراء، الذين يوصون وكالة الطاقة الذرية الدولية، بأنَّه لا يمكن اعتبار الوقود ذاتي الحماية.

حاجة متعاظمة بصورة ملحّة(*)

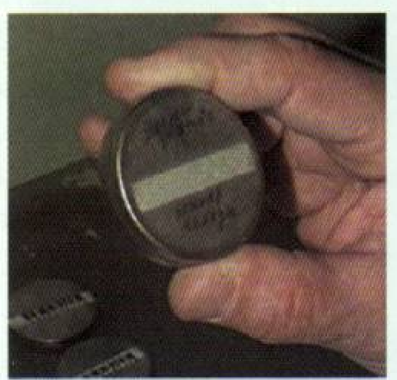
للتغلب على خطر وقود اليورانيوم المستنفد ذي التخصيب العالي في أنحاء العالم، الذي تقلُّ حمايته الذاتية بمرور الوقت، دعت الولايات المتحدة الأمريكية عام 1996 الدول الأجنبية التي تلقَّت اليورانيوم العالي التخصيب الأمريكي إلى استعادة نوعين من الوقود المستنفد. وبعد ست سنوات توحّدت جهود الولايات المتحدة وروسيا مع وكالة الطاقة الذرية الدولية لإرجاع شحن وقود اليورانيوم العالي التخصيب الصالح والمستنفد إلى روسيا. ولكنَّ التقدم في هذا المجال مازال متواضعا، فقد أعيد الوقود المستنفد الذي يحتوي على نحو طنٍّ واحد من اليورانيوم العالي التخصيب الأمريكي في حين يظل نحو عشرة أطنان خارج الولايات المتحدة الأمريكية. كما أعيدت مئة كيلوغرام من وقود اليورانيوم العالي التخصيب الصالح لروسيا، وبقي نحو طنَّين من اليورانيوم العالي التخصيب من الوقود الصالح أو المستنفد من أصل روسي مخزونا عند دول مختلفة، حيث يُخزن وقود المفاعلات البحثية المستنفد الذي أعيد في منشآت وكالة الطاقة الأمريكية في ولايتي كارولاينا الجنوبية و إيداهو، في حين تفصل روسيا اليورانيوم العالي التخصيب من الوقود المستنفد ثمَّ تمزجه لتشكيل الوقود المنخفض التخصيب الصالح للاستعمال في محطات الطاقة النووية.

بعد أحداث 2001/9/11 كثَّف بعض الهيئات غير الحكومية وعدد من أعضاء مجلس الشيوخ الأمريكي من ضغوطهم على وكالة الطاقة الأمريكية لكي تضاعف من جهودها في حماية مخزون اليورانيوم العالي التخصيب المدني عبر العالم. وقد حذَّر <B. Th. تايلور> [مصمم الأسلحة السابق في مختبر لوس ألاموس الوطني (الأمريكي)] من خطر الإرهاب النووي في بداية السبعينات من القرن الماضي، ولكنَّ مأساة الحادي عشر من أيلول (سبتمبر) قد زادت بشكل كبير من مصداقية ندائه

ما يحتاج إليه الإرهابيون النوويون(**)

لصنع أسلحة نووية، يجب على الإرهابيين أولا شراء مصدر لليورانيوم العالي التخصيب أو سرقته. ويتوافر اليورانيوم في الطبيعة من نظير اليورانيوم 238 أساسا (وهو لا يغذي تفاعل الانشطار التسلسلي عندما يمتص نيوترونا) ونسبة ضئيلة جدا (نحو 0.7 في المئة) من نظير اليورانيوم 235 الذي يغذي تفاعل الانشطار التسلسلي، حيث يختلف النظيران في الوزن بنحو واحد في المئة. ويمكن للمهندسين استغلال هذه الخاصة لفصل أحدهما عن الآخر وتركيز (أي تخصيب) اليورانيوم 235، ولكن لا يمكن للإرهابيين إجراء هذه العمليات بأنفسهم لأنَّ جميع الطرائق المعروفة صعبة ومكلفة جدا وتحتاج إلى وقت طويل.

في كتلة دون حرجة بالكاد من اليورانيوم العالي التخصيب سيسبب نيوترون واحد (في المتوسط) من النيوترونين أو الثلاثة المنطلقة عن نوى اليورانيوم 235 حدوث انشطار نواة أخرى. وستنفذ معظم النيوترونات الباقية عبر سطح المادة ولا يحدث أيُّ انفجار. لتحقيق قنبلة من نمط البندقية يحتاج المهندسون إلى كتلتين حرجتين على الأقل بحيث يسبب انشطار واحد حدوث أكثر من انشطار بعده (في المتوسط)، وهذا ما يولِّد تفاعلا تسلسليا انفجاريا يتعاظم بشكل أسي مثل التفاعل الذي حرر الطاقة من قنبلة هيروشيما في غضون جزء من مليون من الثانية.



اقراص سهلة التداول يحتوي كلٌّ منها على كمية صغيرة من اليورانيوم الصالح لصنع القنابل، وهي تستعمل بعشرات الآلاف في إحدى المنشآت الروسية الحيوية. يتطلَّب صنع القنبلة الذرية الكثير من هذه الأقراص، ولكنَّ سهولة حملها جعلت حمايتها من الاختلاس كابوسا امنيا مستمرا.

وتكفي كتلة تقلُّ عن الكتلة الحرجة لإنتاج قنبلة ناكازاكي من النمط التقوُّضي[1]. وفي هذا التصميم تُنقل كتلة البلوتونيوم إلى الحد فوق الحرج عبر ضغطها باستعمال عبوات متفجرة تغلِّفها. يقلِّص هذا التقوُّض من الفراغات بين النوى التي يمكن للنيوترونات النفاذ من خلالها دون إحداث انشطارات.

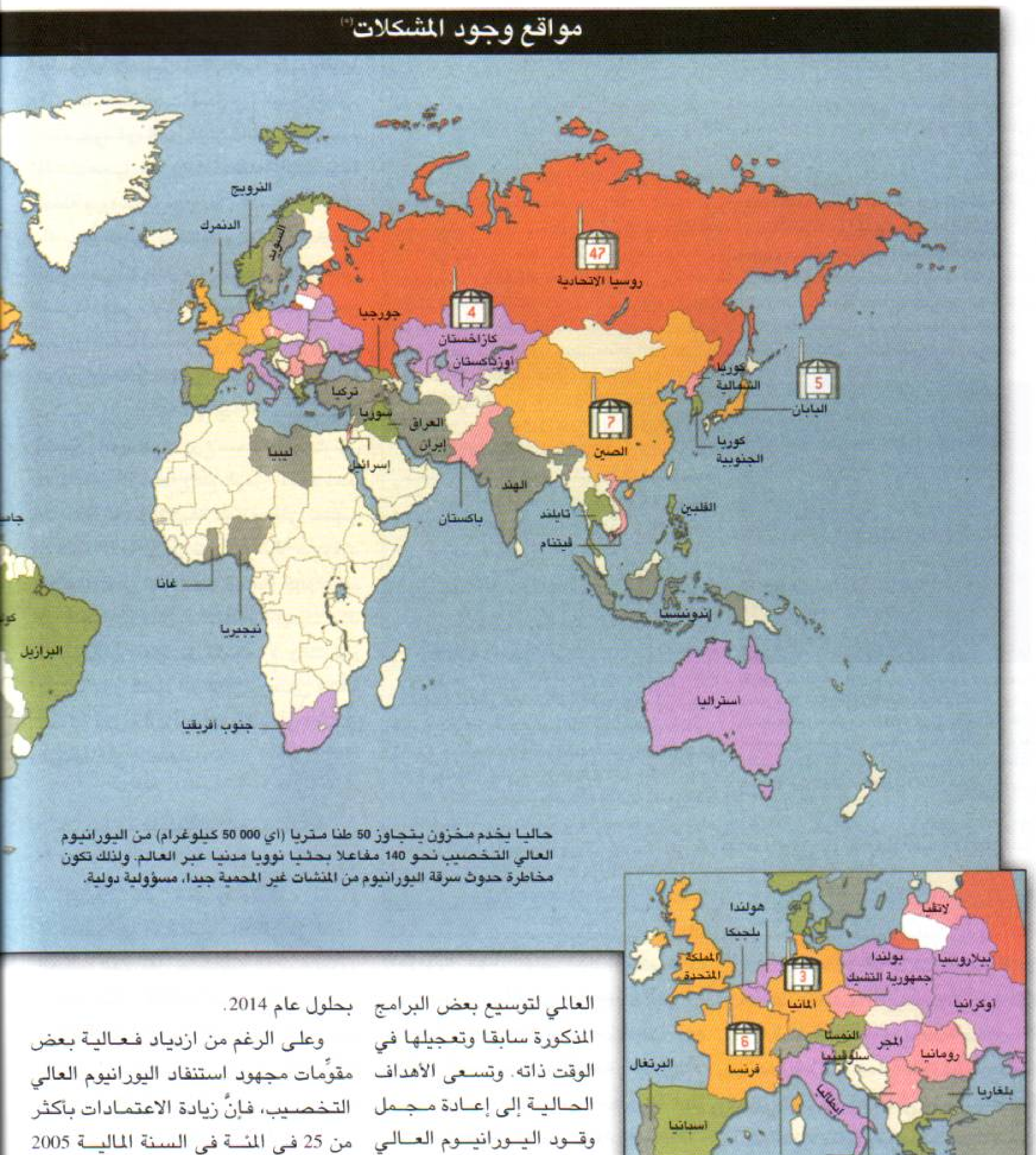
يحتوي يورانيوم القنابل على نحو 90 في المئة أو أكثر من اليورانيوم 235 (أي النواة الانشطارية Fissile)، ولكنَّ الخبراء أوصوا وكالة الطاقة الذرية الدولية أنَّ مجمل أنواع اليورانيوم العالي التخصيب (أيّ خليط يورانيوم يتجاوز فيه اليورانيوم 235 نسبة 20 في المئة) يجب اعتباره «مادة للاستخدام المباشر»، بمعنى أنها صالحة للاستخدام في أسلحة نووية. أمَّا دون هذه النسبة فإن الكتلة الحرجة تصير كبيرة جدا بحيث لا يمكن وضعها في رأس نووي ذي حجم معقول. على سبيل المثال، لإنتاج كتلة حرجة باستعمال يورانيوم مخصب بنسبة 93 في المئة محاط بطبقة بريليوم سماكتها خمسة سنتيمترات لعكس النيوترونات نحتاج إلى 22 كيلوغرام، في حين أننا نحتاج إلى نحو 400 كيلوغرام إذا ما استعملنا اليورانيوم المخصَّب بنسبة 20 في المئة.

(*) Growing urgency

(**) What Nuclear Terroriats Would Need

(1) التقوض Implosion هو تهدم الشيء على نفسه.

(التحرير)

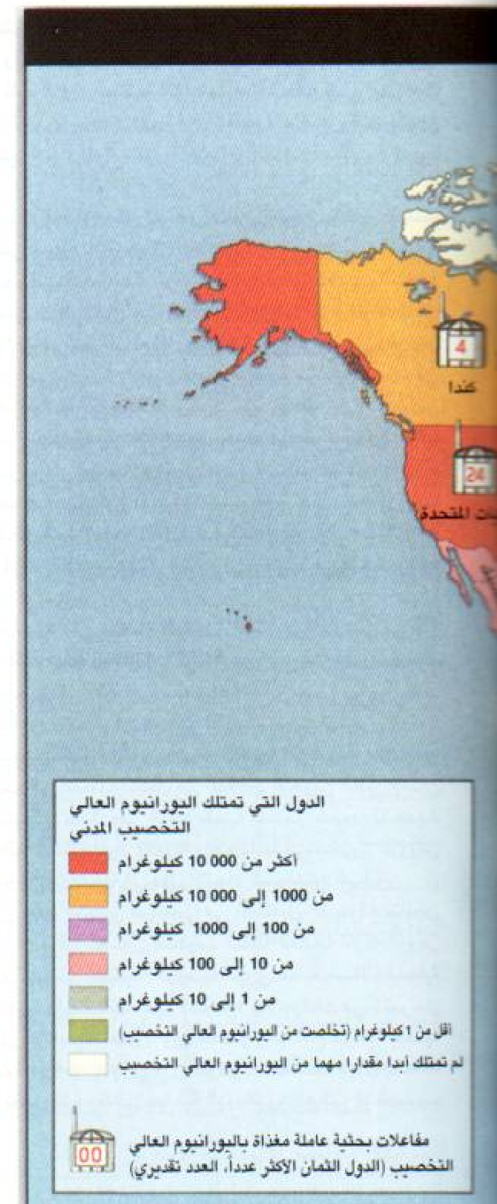


حاليا يخدم مخزون يتجاوز 50 طنا متريا (أي 000 50 كيلوغرام) من اليورانيوم العالي التخصيب نحو 140 مفاعلا بحثيا نوويا مدنيا عبر العالم. ولذلك تكون مخاطرة حدوث سرقة اليورانيوم من المنشآت غير المحمية جيدا، مسؤولية دولية.

للتحرك في هذا المضمار، كما تزايدت النداءات من أجل «استنفاد شامل» لليورانيوم العالي التخصيب غير العسكري. وكردٍّ على ذلك أطلقت وكالة الطاقة الأمريكية مبادرة الحد من التهديد العالمي لتوسيع بعض البرامج المذكورة سابقا وتعجيلها في الوقت ذاته. وتسعى الأهداف الحالية إلى إعادة مجمل وقود اليورانيوم العالي التخصيب الصالح والمستنفد من منشأ روسي بحلول نهاية عامي 2006 و 2010 على التوالي، وإعادة مجمل وقود اليورانيوم العالي التخصيب من منشأ أمريكي بحلول عام 2019. ويتصور المخطط أيضا تحويل جميع مفاعلات الأبحاث المدنية الأمريكية إلى وقود يورانيوم منخفض التخصيب بحلول عام 2014.

وعلى الرغم من ازدياد فعالية بعض مقوِّمات جهود استنفاد اليورانيوم العالي التخصيب، فإنَّ زيادة الاعتمادات بأكثر من 25 في المئة في السنة المالية 2005 مقارنة بالسنة السابقة (لكي تصل إلى نحو 70 مليون دولار أمريكي) أبقت حجم البرنامج ضئيلا مقارنة بالبرامج التي كلَّفت عدة بلايين من الدولارات لإنشاء منظومة الدفاع الصاروخي وتعزيز قدرات الأمن الوطني. وعلى النقيض من المنطق السليم، يمكن أن تعلِّل التكلفة الزهيدة

(*) Where Troublee Lies



لمشروع التخلص من اليورانيوم العالي التخصيب جزئيا بسبب عدم وجود من يدافع عنه في أية إدارة رئاسية ووجود قليل من متعهِّديه في مجلس الشيوخ، فالإداريون في وزارة الطاقة ورؤساء اللجان الفرعية للموافقة على البرامج في مجلس الشيوخ ينفقون جلَّ وقتهم في السعي وراء البرامج الميزانية العالية.

أمَّا الوضع في روسيا فهو أسوأ كثيرا، إذ تبدو حكومتها غير معنية نسبيا بخطر حيازة الإرهابيين موادَّ نووية متفجرة. وقد توجهت الآن لتعهُّد تحويل مفاعلاتها البحثية إلى وقود اليورانيوم المنخفض التخصيب. ولسوء الحظ تراجع الرئيس <جورج دبليو بوش> مؤخرا عن الضغط على روسيا لحثها على المضي قدما في هذا المضمار. وقد اتفق في لقاء القمة في الشهر 2005/2 مع الرئيس الروسي <ڤلاديمير بوتين> على الحدِّ من التعاون الأمريكي الروسي في جهود استنفاد اليورانيوم العالي التخصيب في البلدان الأخرى، إذ تزايدت ممانعة الإدارة الروسية لبرامج تفوِّض زيارات أجانب للمنشآت النووية الروسية، خصوصا إذا كانت هذه المبادرات لا تقدم مبالغ ضخمة لروسيا.

وهكذا فإنَّ مشاريع استنفاد اليورانيوم العالي التخصيب التي لاتزال نشيطة في روسيا تستعمل مقاربة «من الأسفل نحو الأعلى»، حيث يتفاوض ممثلوها مباشرة مع المعاهد النووية الروسية على الصعيد المحلي واحدا إثر الآخر، تاركين للمعاهد مهمة الحصول على إذن حكومتهم. ولحسن الطالع يمكن أن تكون معونة مليون دولار غير مهمة بالنسبة للدولة الروسية ولكنها تعني الشيء الكثير بالنسبة لمعهد نووي مختنق ماديا، ولذلك فإن عددا من هذه المشاريع في تقدم مستمر.

مصادر مهملة لوقود يورانيوم عالي التخصيب(*)

توجِّه المجهودات الحالية لتحويل وقود اليورانيوم العالي التخصيب أساسا إلى مفاعلات الأبحاث المغذاة باليورانيوم العالي التخصيب التي تحتاج إلى إعادة تغذية بالوقود. وهي تتجاهل بدرجة كبيرة التراكيب الحرجة والمفاعلات النبضية، وهما نمطان آخران من المفاعلات البحثية التي يحتوي لبُّها تراكميا على كميات ضخمة من المواد الخطرة.

إنَّ التركيب الحرج هو نموذج فيزيائي حقيقي للبِّ مفاعل جديد يختبر ما إذا كان تصميم اللب سيحفظ استدامة تفاعل انشطاري متسلسل أو أنه يعمل عند الحالات الحرجة كما أراده المهندسون. ولما كانت هذه التراكيب محدودة بتوليد نحو مئة واط من الحرارة فحسب فإنها لا تتطلب منظومات تبريد، ويمكن للمهندسين بناءها ببساطة عبر مراكمة وقود ومواد أخرى.

وقد صادف أحدنا (فون هيبل) هذا التركيب لأول مرة عام 1994 عندما جال (كأحد مسؤولي البيت الأبيض) في معهد كورتشاتوف Kurchatov (وهو مركز أبحاث للطاقة الذرية في موسكو) مع خبراء أمن المواد النووية والإحصاء الأمريكيين. وهناك في مبنى تحت الأرض وُضع نحو 70 كيلوغرام من أقراص اليورانيوم النقي تقريبا والصالح لصنع القنبلة فيما يشبه خزانة مدرسية. وقد كان اليورانيوم 235 مخصصا لنموذج حرج لمفاعل فضائي. وهذه الزيارة أدت إلى أول تحسين لحماية المنشآت النووية الروسية. ومؤخرا بدأ معهد كورتشاتوف ووزارة الطاقة الأمريكية النقاش حول مشروع مشترك بينهما للتخلص من وقود اليورانيوم العالي التخصيب في العديد من منشآت المعهد التي تضم أنماط التراكيب الحرجة.

وهناك موقع آخر مماثل عبارة عن منشأة تركيب حرج في معهد روسيا للفيزياء وهندسة الطاقة في مدينة أوبنيسك Obninsk. ولعل في هذه المنشأة أكبر مخزون من اليورانيوم العالي التخصيب في أي موقع للمفاعلات البحثية في العالم، وهو 8.7 طن، وهي في معظمها متوافرة في عشرات الآلاف من الأقراص المغطاة بالألمنيوم والفولاذ المقاوم للصدأ، يبلغ قطرها نحو بوصتين [*انظر الشكل في الصفحة 49*]. يضع الفنيون الأقراص في أعمدة تفصل بينها أقراص أخرى من اليورانيوم المنضب[1] لكي تحاكي مختلف مستويات معدل تخصيب الوقود. ولما كانت هذه العناصر لا تصدر إلا مستويات

(*) Neglected HEU Sources
(1) depleted uranium

إيقاف سرقة المواد النووية(*)

تحتاج الدول في سعيها للتخلص من مخزونات اليورانيوم العالي التخصيب لإحباط صنع أسلحة نووية من قبل المجموعات الإرهابية إلى حماية أفضل لفاعلاتها النووية المدنية التي تستعمل هذا الوقود. ويجري تنفيذ إحدى الطرائق عبر التعاون بين الخبراء الأمريكيين والروس على المنشآت الروسية باعتبارها مثلا لأنواع المراحل التي يمكن اتباعها والمشكلات التي تواجهها هذه البرامج.

أصبحت الحاجة إلى حماية متطورة أمرا جليا عام 1992، عندما سرق مهندس في منشأة نووية تقع قرب موسكو نحو كيلوغرام ونصف الكيلوغرام من اليورانيوم العالي التخصيب بكميات صغيرة على مرات عديدة خلال عدة أشهر أملا في التربح من بيعها. ولحسن الحظ تمّ القبض على الجاني قبل انتقال اليورانيوم لدولة شريرة أو لإرهابيين، وبالطبع كان من الممكن أن تكون نتائج السرقة أسوأ بكثير من ذلك، إذ يكفي نحو 25 كيلوغرام من اليورانيوم لصنع بعض أنواع المتفجرات النووية وفق تقديرات وكالة الطاقة الذرية.

يعكس حادث الاختلاس، بعيدا أن يشكلّ ذلك استثناء، حالة عامة من انعدام الأمن. لقد ترك انهيار الاتحاد السوفييتي عام 1991 منشآته النووية عرضة لتهديدات من الداخل ومن الخارج. لقد ظل الباحثون والمهندسون والحراس عدة شهور بدون رواتب في فترة سابقة ساءت بنية منظومة الإدارة فيها، وهذا ما أدّى إلى قلق كبير حول إمكان سرقة المادة النووية. وقد فهم قادة روسيا والولايات المتحدة الأمريكية ودولٍ أخرى المخاطر التي تنطوي عليها المواد غير المحمية ووضعوا برامج تعاون للحدّ من هذه المخاطر.

كان برنامج مراقبة المواد النووية وإحصائها (MPC & A)(1) الذي أسس في عام 1993 هو أحد هذه الجهود. وكأحد أطراف البرنامج، عملت المختبرات التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية مع المنظمات النووية في روسيا الاتحادية. وتشمل المنشآت التي خضعت للتحديث مختبرات أبحاث مدنية، ومحطات مفاعلات ذوات دائرة وقود نووية ، ومنشآت أبحاث وإنتاج للمواد النووية العسكرية، ومجمّعات خزن الأسلحة النووية. وقد قدم الموظفون الأمريكيون المشورة للخبراء الروس وسهّلوا من عملهم، ثمّ تابع الروس تحقيق التحديثات اللاحقة التي استدعت إعمار منشآت وحيازة أجهزة وتعديل الإجراءات المتبعة. وتعاون الأمريكيون والروس أيضا في تحسين تنظيم المواد النووية ومعايير العمل وأساليب التدريب وإجراء الجرد.

وفي بعض الحالات، تمّ إنجاز بعض المراحل الجزئية سريعا لحين إنشاء تغيُرات أكثر شمولاً. فعلى سبيل المثال، يمكن للفنيين إبدال باب عادي بنظام باب مزدوج يعمل بمثابة حاجز. ويمكنهم لاحقا تركيب منظومة دارة تلفزيونية مغلقة للمراقبة ولفحص التهديدات في حال حدوثها. ومن أجل مراقبة المواد، يمكن للمديرين سنّ قانون فورا يقضي بأنّ كلّ تعامل مع المادة النووية يجب أن يتم عبر شخصين يعملان معا. وبعد ذلك يمكن للفنيين وضع منظومة مؤتمتة للتحكم في الدخول تتطلب بطاقات تعريفية خاصة وكلمات دخول سرية وتحققا من الأشخاص باستعمال **الإحصائيات البيولوجية** Biometrics. لجرد وإحصاء كمية المواد، يمكن أن يضمّ تطوير سريع على جدولة عمليات جرد منتظمة لحاويات المواد النووية المصدّقة بأقفال محكمة. وسيكون الإجراء الأوسع هو إدخال محطات قياس يتحكّم فيها الحاسوب تحلّل (عبر أشعة كاما الصادرة عن الحاويات) مستويات تخصيب للمواد النووية في داخلها، وستدخل النتائج أوتوماتيكيا في قاعدة بيانات حاسوبية تشير إلى ظهور أيّ خلل.

وقد شهدت السنوات الاثنتي عشرة للتعاون الأمريكي الروسي في هذا البرنامج تقدما ملحوظا، فقد أُكملت التحديثات في 41 من 51 موقعا معروفا للمواد النووية في روسيا ودول أخرى في الاتحاد السوفييتي السابق، بما فيها مجمّعات الأسلحة والمنشآت المدنية (وهذا ما تركز عليه المقالة) ومستودعات خزن الوقود النووي عند الأسطول البحري، كما تستمر عمليات التطوير في ثمانية مواقع من العشرة الباقية. ولا توجد أيّة اتفاقية للعمل في الموقعين الآخرين اللذين يعدّان منشأتين روسيتين حسّاستين جدا. وفي الوقت نفسه تستمر جهود التحديث بالاستعانة ببرنامج مراقبة حماية المواد النووية وإحصائها في مخزون الرؤوس النووية ومواقع الصواريخ الاستراتيجية في دول الاتحاد السوفييتي السابق.

يشكل الدعم الطويل الأمد التحدي الرئيسي في المستقبل، إذ يتوقع تناقص الدعم الأمريكي لهذا البرنامج في غضون السنوات القليلة القادمة تاركا الروس يتحملون العبء بمفردهم. ومع أنّ الحكومة الروسية تجري عملية مستقلة لحماية برنامج مراقبة المواد النووية وإحصائها، فإنّ الأجهزة والإجراءات في كثير من المواقع ستسوء إذا انتهى برنامج التعاون. وإنّ استمرار برنامج مراقبة حماية المواد النووية وإحصائها هو أمر حيوي لأمن الولايات المتحدة، فبكل بساطة يمكن القول إنّ عواقب نقص ملحوظ في حماية اليورانيوم العالي التخصيب يمكن أن تكون وخيمة.





إن الإجراءات الأمنية في كثير من مواقع مفاعلات الأبحاث في الاتحاد السوفييتي السابق لا تكفل حماية اليورانيوم المخصب من السرقة. ويتعاون المختصون الأمريكيون والروس لتدعيم الإجراءات الأمنية. وقد لاحظ المفتشون أن الأسوار والأبواب على المحيط الأمني وغيرها للمنشات غير كافية أو أنها بحاجة سريعة إلى الإصلاح (*الصورة العليا*). ومنذ أن تم تحسين حالة هذه المنشآت، صارت نظم الحواجز منيعة أكثر أمام المقتحمين (*الصورة السفلى*).

المؤلفة

Leslie G. Fishbone

تعمل في مجال الحدّ من انتشار الأسلحة النووية في قسم الأمن الوطني بمختبر بروكلين الوطني، وقد عملت في برنامج مراقبة حماية المواد النووية طوال فترة تجاوزت العشر سنوات.

منخفضة من الإشعاع فيمكن للفنيين تكديسها باليد. ولكنّ التأكد من عدم خروج أحد ومعه قرص منها يبقى هاجسا أمنيا. وقد قمنا مؤخرا بدراسة تحليلية أقنعت مدير المنشأة بأنّ المختبر لا يحتاج إلى اليورانيوم الذي يصلح لصنع القنابل، كما أن المسؤولين في وزارة الطاقة الأمريكية مهتمون بإقامة مشروع مشترك للاستغناء عن هذه المواد.

أما المستهلكون الآخرون الأقل شأنا في استخدام وقود اليورانيوم العالي التخصيب في المفاعلات النبضية فإنهم يعملون بصورة نموذجية عند مستويات طاقية عالية لفترات لاتتجاوز عدة أجزاء من الألف من الثانية. وتستعمل مختبرات الأسلحة المفاعلات النبضية عادة لتقييم استجابات المواد والأدوات لتدفقات شديدة وقصيرة من النيوترونات مثل تلك التي تولدها الانفجارات النووية. وتطرح هذه المنظومات مشكلة أمنية شبيهة بالتراكيب الحرجة لأنّ وقودها أيضا مشع بنحو ضئيل فحسب. ويحتوي المفاعل النبضي الموجود في المعهد الروسي للأبحاث العلمية في الفيزياء التجريبية (وهو المختبر الأول لتصميم الأسلحة النووية في روسيا،

(*) Halting the theft of nuclear materials

(1) The Material Protection Control and Accounting (MPC.A) program

ويقع على مسافة 400 كم إلى الشرق من موسكو) على 0.8 طن من اليورانيوم العالي التخصيب (وهذا ما يكفي لصنع 15 قنبلة هيروشيما). وبعد الاستماع إلى محاضرة أحدنا (فون هيبل) عن خطر اليورانيوم العالي التخصيب اقترح الباحثون في المعهد دراسة جدوى تحويل المفاعل إلى اليورانيوم المنخفض التخصيب.

وعلى الرغم من وجود ما يزيد على 70 مفاعلا نبضيا وذا تركيب حرج عبر العالم (ما يزيد على نصف هذا العدد في روسيا) فإنه يلزم القليل منها لإجراء الأبحاث في الوقت الراهن، فقد بني معظمها في الستينات والسبعينات من القرن الماضي وأصبحت اليوم من الطراز القديم فنيا. ويمكن تحقيق الكثير من مهامّها عبر محاكاة حاسوبية عادية لحساب تطور التفاعلات التسلسلية النووية التي تحدث في نماذج مفصّلة ثلاثية الأبعاد للمفاعل. ويمكن للمهندسين التثبت من صحة هذه المحاكاة الرياضياتية بمقارنتها مع النتائج المحفوظة لتجارب الحدّ الحرج السابقة. ويمكن لعدد قليل من المنشآت المتعددة الأغراض التي تستعمل وقود اليورانيوم العالي التخصيب أن تظلّ قيد الاستعمال لسدّ ثغرات التجارب السابقة. وبوسع المهندسين تحويل عدد قليل من المفاعلات النبضية ذوات الوقود المنخفض التخصيب لاحتمال الحاجة إليها.

وبشكل عام قدّر أحد مختصي وكالة الطاقة الذرية الدولية (IAEA) أنّ أكثر من 85 في المئة من مجموع المفاعلات البحثية المتقادمة في العالم ستحال إلى التقاعد. وقد لاحظ أنّه يمكن تلبية الخدمات التي تؤديها بنحو أفضل من خلال عدد من المنابع النيوترونية المحلية باستخدام أحدث التقانات المتوافرة. ولإغراء الباحثين الذين يستعملون هذه المفاعلات يمكن لبرنامج الإحالة إلى التقاعد أن يستثمر في الوقت ذاته في زيادة قدرات مراكز المفاعلات البحثية المتبقية. ويمكن أن تحذو الدول الأوروبية واليابان حذو الولايات المتحدة الأمريكية. وفي الحقيقة يمكن أن يؤمّن هذا التقارب مصدرا ماليا للمعاهد التي تملك المفاعلات لإجراء جرد واسع لليورانيوم العالي التخصيب المشع بشكل قليل، إذ يمكن أن تجلب هذه المخزونات لها نحو 20 مليون دولار لكلّ طن من اليورانيوم العالي التخصيب بعد تخفيفه إلى اليورانيوم المنخفض التخصيب الآمن المستعمل في وقود محطات الطاقة النووية.

نحو الحل[*]

طالت الجهود لتحويل المفاعلات التي تستعمل وقود اليورانيوم العالي التخصيب لأكثر من ربع قرن. ولا يتعلق استعمال اليورانيوم العالي التخصيب بأسباب تقانية، فقد نتج هذا التقصير أساسا من قلة الدعم الحكومي على المستوى الرفيع بشكل كاف، كما تسببت ممانعة فنيي المفاعلات الذين يخشون التسريح أو تعليق العمل في التأخر أيضا.

على الرغم من القلق الحالي من الإرهاب النووي فإنّ معظم مراحل برنامج استنفاد اليورانيوم العالي التخصيب تسير ببطء شديد. وتحتاج الحكومات إلى زيادة المخصصات المالية لتعجيل تحويل المفاعلات التي يتوافر لها البديل من اليورانيوم المنخفض التخصيب، وللتأكد من أنّ مقوّمات الوقود البديل قد طوِّرت بحيث يتمُّ استبدال المفاعلات المتبقية. إضافة إلى ذلك يجب توسيع البرنامج بحيث يشمل جميع التركيبات الحرجة المغذاة باليورانيوم العالي التخصيب والمفاعلات النبضية والعدد الصغير من المستعملين المدنيين لوقود اليورانيوم العالي التخصيب مثل كاسحات الجليد الروسية المسيَّرة بالطاقة النووية.

وإذا أخذت الولايات المتحدة الأمريكية وحلفاؤها موضوع تحدي منع الإرهاب النووي مأخذ الجدّ فإنه يمكن الانتهاء من اليورانيوم العالي التخصيب المدني في غضون خمس إلى ثماني سنوات، في حين أنّ استمرار التأخر في إتمام هذه المهمة لن يزيد سوى من فسحة ظهور الإرهاب النووي. ■

(*) Toward a Solution

المؤلفان

Alexander Glaser - Frank N.VON Hippel

زميلان في برنامج للعلم والأمن العالمي في جامعة برينستون. <كلازر> عضو في هيئة الأبحاث، وقد حصل على الدكتوراه في الفيزياء مؤخرا من جامعة درمشتادت للتقانة في ألمانيا، حيث درس الحواجز التقانية في تحويل مفاعلات الأبحاث النووية. وأصبح <هيبل> فيزيائيا نوويا نظريا عبر التدريب المستمر، وهو أحد مديري هذا البرنامج وأستاذ العلاقات العامة والدولية. وأثناء عمله مساعدا لمدير الأمن القومي في مكتب البيت الأبيض لشؤون العلم والتقانة في عامي 1993 و 1994 ساعد <هيبل> على الترويج للجهود الأمريكية في تحسين حماية المواد النووية في الاتحاد السوفييتي السابق. وكلاهما يعملان في الهيئة الاستشارية العالمية للمواد الانشطارية التي تحاول إنهاء استعمال اليورانيوم والبلوتونيوم العاليي التخصيب.

مراجع للاستزادة

Controlling Nuclear Warheads and Materials. Matthew Bunn, Anthony Wier and John P. Holdren. Nuclear Threat Initiative and the Project on Managing the Atom, Harvard University, March 2003. Available at **www.nti.org/e_research/cnwm/overview/cnwm_home.asp**

A Comprehensive Approach to Elimination of Highly-Enriched-Uranium from All Nuclear-Reactor Fuel Cycles. Frank von Hippel in *Science and Global Security*, Vol. 12, No. 3, pages 137–164; 2004. Available at **www.princeton.edu/~globsec/publications/pdf/von_Hippel_SGS_137-164_1.pdf**

The Four Faces of Nuclear Terrorism. Charles D. Ferguson and William C. Potter. Routledge (Taylor and Francis), 2005.

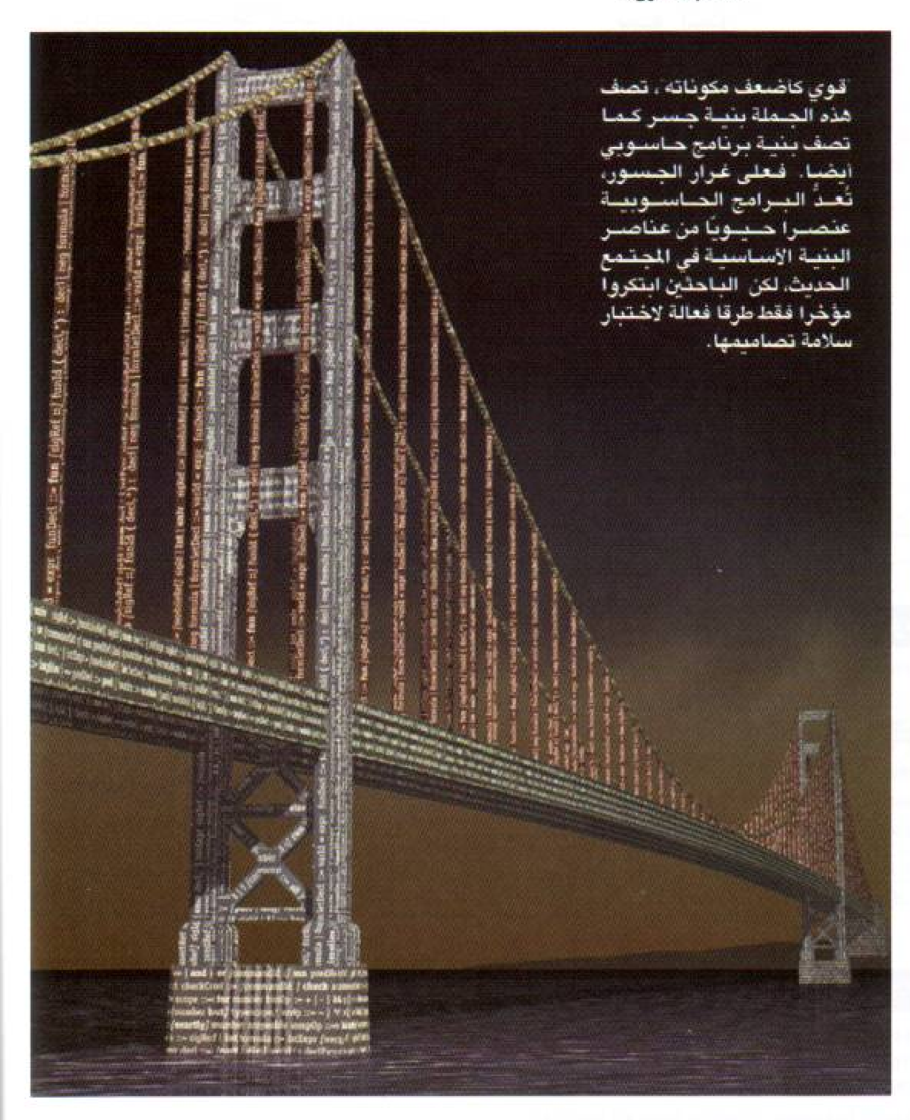
Last Best Chance. Docudrama produced by the Nuclear Threat Initiative on the danger of nuclear terrorism, 2005. Free DVDs can be ordered at **www.lastbestchance.org/**

Scientific American, February 2006

برمجيات تُصمَّم بحيث يُعوّل عليها(*)

تقود الحواسيب الطائرات وتُشغِّل معظم منظومات المصارف والاتصالات والتجارة والصناعة في العالم. والآن فإن أدوات تحليل قوية ستساعد في نهاية المطاف مهندسي البرمجيات على ضمان وثوقية تصاميمهم.

<D. جاكسون>



قوي كاضعف مكوناته، تصف هذه الجملة بنية جسر كما تصف بنية برنامج حاسوبي أيضا. فعلى غرار الجسور، تُعدُّ البرامج الحاسوبية عنصرا حيويا من عناصر البنية الأساسية في المجتمع الحديث، لكن الباحثين ابتكروا مؤخرا فقط طرقا فعالة لاختبار سلامة تصاميمها.

حين افتُتح مطار دنفر الدولي الجديد، قبل 11 عاما، كان من المؤمل أن يشكل نظام أمتعة المسافرين المؤتمت جوهرة الإنجازات العالية التقانة التي ضمّها. فقد صُمّم هذا النظام بحيث تنتقل الأمتعة على سيور (أحزمة) يبلغ طولها نحو 26 ميلا، لإيصالها بسرعة ودون انقطاع إلى الطائرات والمسافرين. لكن مشكلات البرمجيات أثقلت كاهل النظام، فأخّرت افتتاح المطار 16 شهرا وأضافت مئات ملايين الدولارات إلى تكاليف إنشائه. ولم يعمل النظام على نحو يسمح بالركون إليه على الرغم من سنين كثيرة صرفت في إصلاحه. وفي صيف عام 2006، قام مديرو المطار أخيرا بإيقاف النظام والعودة إلى حاويات الحقائب التقليدية التي تُحمَّل يدويا وتجرها عربات يقودها البشر. أما الشركة BAE Automated Systems [التي صممت نظام نقل الأمتعة المؤتمت]، فقد صُفِّيت وأفلست شركة الخطوط الجوية United Airlines المستخدمةُ الرئيسية للنظام، وكانت مشكلات هذا النظام أحد أسباب إفلاسها.

والثمن الباهظ لتصميم رديء للبرمجيات تدفعه الملايينُ من المستَخدمين المُحبَطين يوميا. وتتضمن أمثلة شنيعة أخرى كوارثَ مكلفة عانتها مشاريع **مصلحة الضرائب الداخلية الأمريكية** U.S. Internal Revenue Service (كالمشروع الفاشل لتحديث أعمال المصلحة الذي بلغت قيمته 4 بلايين دولار في عام 1997، والذي تبعه مشروع تحديث آخر بلغت كلفته 8 بلايين دولار، عانى قدرا مساويا من المشكلات)؛ ومكتب التحقيقات الاتحادي (كمشروع نظام إدارة ملفّ الدعاوى الافتراضي الذي ألغي عام 2005 بعدما كلّف 170 مليون دولار)؛ وإدارة الطيران الاتحادية (كالمحاولة البطيئة، التي لم تحرز أي نجاح حتى الآن، لتجديد منظومتها المتقادمة للتحكم في حركة المرور الجوية).

تحصل هذه الإخفاقات الهائلة لأن عيوبا جوهرية في التصميم تُكتشف متأخرة جدا. ففقط بعد بدء المبرمجين بكتابة **الكود** code ـ أي التعليمات التي يستخدمها الحاسوب لتنفيذ برنامج ما ـ يكتشفون أن تصاميمهم غير ملائمة. ويكمن الخلل أحيانا في عدم توافق التعليمات ضمن الكود أو غياب مميت لأحدها، لكن في معظم الأحيان يعود الخلل

(*) DEPENDABLE SOFTWARE BY DESIGN



يمكن رد جميع مشكلات البرمجيات القاتلة إلى أخطاء مفاهيمية ارتُكبت قبل البدء بالبرمجة.

نظام الأمتعة المؤتمت الذي أخفق في مطار دنفر الدولي.

إلى أن التصميم برمّته ضبابيّ ولم يستوف حقه من الدراسة. ومع تنامي الكود، بسبب تعديلات تضاف إليه بالتقسيط، تبرز بنية تفصيلية فعلا للتصميم الأصليّ، لكن التصميم الناتج يكون ممتلئا بالحيل والحالات الخاصة، دون مبادئ متوافقة. وكما هي الحال في المباني، فعندما لا تكون أسس البرمجيات سليمة، تفتقر البنية الناجمة إلى الاستقرار.

يمكن للمديرين المتورطين في إخفاقات بارزة للبرمجيات الدفاع عن أنفسهم مدعين أنهم قد اتبعوا الممارسات المعتَمَدة في صناعة البرمجيات، ومن سوء الطالع، أنهم سيكونون محقين في ادعاءاتهم هذه. فالمطوِّرون نادرا ما يوضحون تصاميمهم بدقة ويحلّلونها للتأكد بأنها تجسّد الخصائص المرغوبة. لكن بعد أن أصبحت الحواسيب تقود الطائرات والقطارات والسيارات، وتُشغِّل معظم مرافق المال والاتصالات والتجارة والإنتاج في العالم، فقد صار المجتمع في أمسّ الحاجة إلى تحسين اعتمادية البرمجيات.

لكن جيلا جديدا من أدوات تصميم البرمجيات يبرز الآن إلى الوجود [*انظر الإطار في الصفحة 59*]. وتشبه محركات التحليل المستخدمة في هذه الأدوات، من حيث المبدأ، تلك التي يستخدمها المهندسون بصورة متزايدة لتدقيق تصاميم العتاد الحاسوبيّ. فيُنَمْذِج المطوِّر تصميم البرنامج باستخدام **مدوّنة كوديّة** coding notation مقتضبة رفيعة المستوى، ثم يشغِّل أداةً تستكشف بلايين التنفيذات الممكنة للمنظومة باحثة عن أوضاع غير مألوفة يمكن أن تجعل المنظومة تتصرف بطريقة غير متوقعة. تكشف هذه العملية عيوبا خفيّة في التصميم، حتى قبل كتابة كوده، والأهم من ذلك، أنها توفر تصميما دقيقا ومنيعا ومختبرا بالتفصيل. وأحد الأمثلة على هذه الأداة «ألُويْ» Alloy التي بنيتُها مع مجموعة البحث التي تعمل معي. وقد أثبَتت الأداة ألُويْ (المتاحة مجانا على الإنترنت) فائدتها في تطبيقات متفاوتة في تنوعها تفاوت برمجيات الطيران والهاتف ونظم التعمية، وتصميم الآلات المستخدَمة في علاج السرطان [*انظر الإطار في الصفحة 58*].

تستند منظومة ألُويْ وأدوات فحص التصميم المتصلة بها، إلى ربع قرن من الأبحاث حول طرائق إثبات صحة البرامج رياضياتيا. وبدلا من المطالبة بإجراء البراهين يدويا، تستخدم هذه الأدوات تقنيات مؤتمتةً للمحاكمة تعالج مسألة التصميم البرمجي بمثابة **أحجية صور مقطّعة** jigsaw puzzle عملاقة يتعيّن حلّها. إن هذه المحلِّلات تعالج التصاميم، لا كود البرنامج، ولذا لا يمكنها أن تضمن عدم إخفاق البرنامج. لكنها توفر لمهندسي البرمجيات التوصل للمجموعة الأولى من الأدوات العملية التي يمكنها أن تضمن أن التصاميم منيعة وخالية من العيوب المفاهيمية، وأنها توفر أساسا متينا تُبنى عليه نظم برمجية يمكن الاعتماد عليها.

تقييم التصاميم(**)

ليست البرمجيات الرديئة بالمسألة الجديدة. فالتحذيرات من أزمة البرمجيات تعود إلى ستينات القرن العشرين، وهي قد تفاقمت فقط الآن لأن الحواسيب قد تغلغلت في نسيج المجتمع[1].

تفلّى وتُنَقَّح معظم البرمجيات اليوم عادة باختبارها. إذ يُشغِّل المهندسون البرمجيات باستخدام مجموعة كبيرة من الشروط الابتدائية (أو المُدخَلات) ليروا إذا ما كانت تعمل كما هو متوقع منها. ومع أن هذا الإجراء يكشف عن جملة من العيوب الصغيرة في البرمجيات، فهو غالبا ما يغفل عيوبا في التصميم الأساسي. ومن وجهة نظر ما، فإن إجراءات الاختبار هذه تضلّ عن الغابة (المريضة) بتركيزها على الأشجار (المتعفنة).

والأسوأ من هذا أن **البقّات** bugs التي يجري «إصلاحها» أثناء عملية الاختبار غالبا ما تُفاقم مشكلات التصميم. فحين يفلّي المبرمجون الكود ويحشرون فيه سمات جديدة، لا بد من أن تُربِّي البرمجيات من التعقيدات ما يشبه العوائق التي تلتصق بالسفن في البحر فتنتقص من كفاءتها، وتولِّد مزيدا من الفرص لحدوث الأخطاء. إن هذه الحالة تُذكِّر بنظرية بطليموس (الخاطئة) عن حركة الكواكب التي كان الإغريق القدماء

نظرة إجمالية/ فاحصات تصميم البرمجيات(*)

- **على الرغم من الأهمية المتنامية باستمرار للبرمجيات الحاسوبية في حياتنا اليومية، فإن مهندسي البرمجيات نادرا ما يحللون تصاميمهم لضمان اعتمادها. لكن الحال آخذة في التغيُّر مع التطورات الحديثة لأدوات فحص تصاميم البرمجيات، مثل الأداة ألُويْ Alloy.**
- **تضمّ الأداة ألُويْ لغة تيسِّر نمذجة تصاميم البرمجيات المعقدة، مع محرك تحليل يبحث بالتفصيل عن عيوب مفاهيمية وبنيوية بطريقة مؤتمتة، ويُعامِل التصاميم وكأنها أحاجي هائلة يجب حلها.**
- **في المستقبل القريب نسبيا، سوف تُحسِّن أدوات مشابهة للأداة ألُويْ إمكانات الاعتماد على البرمجيات، بجعل تطوير البرامج يقوم على ممارسات للتصميم بنّاءة وأشد منعة.**

(*) Overview/ Software Design Checkers
(**) Evaluating Designs
(1) انظر: "*Software's Chronich Crisis*," by W. Wayt Gibbs; *Scientific American*, September 1994.

تساعد الأداة أَلُويْ مصممي البرمجيات على العثور على مثالب التصميم وإصلاحها، بتوفير لغة توضح بنية البرنامج، ومحلِّل مؤتمت يبحث ضمن العدد الهائل من التنفيذات الممكنة للمنظومة عن مثال مضاد، يُبيِّن كيف يمكن للمنظومة أن تُخفق في القيام بما هو مطلوب منها. وفي المثال المُبَسَّط أدناه، يَستخدم أحد المهندسين الأداة أَلُويْ لتقييم تصميم نظام ملفات، أي البرمجيات التي ترتب ملفات حاسوبك في مجلدات وتخزنها على قرص. إن إحدى مهام الأداة أَلُويْ الحيوية هي تحديد الآثار التي يمكن أن تُحدثها العمليات المختلفة في بنية الملف. ونبين هنا كيف يمكن للمصمم أن يُنمذج ويَفحص العملية التي تحرك مجلدا أو «دليلا» من موقع في **تراتبية** hierarchy الملفات إلى آخر.

المفعول | كود أَلُويْ

الخطوة الأولى: عرِّف المكوِّنات

```
module filesystem

abstract sig Object {}
sig File, Dir extends Object {}

sig FS {
 dirs: set Dir,
 files: set File,
 contains: dirs -> (dirs + files)
 }
```

يُحدِّد المصمم مكونات النظام - أيَّ ملفاته **وأدلته** directories ومنظومة **ملفاته** file system على نحو شامل - وعلاقاتها البينيَّة. يقول نموذج أَلُويْ إن نظام الملفات FS يمتلك ثلاث مكونات: files (أو مجموعة الملفات)، و dirs (أو مجموعة أدلته)، و contains (أو خريطة تعطي جملة الملفات والأدلة التي يحتويها كل دليل).

عرِّف المكوِّنات | جدول العلاقات | يحتوي | دليل | ملفات | Root | Sub | File

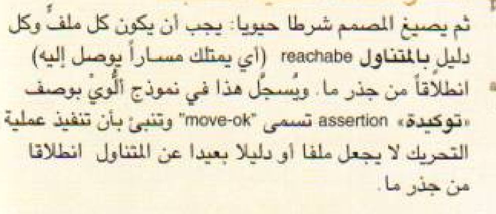
الخطوة الثانية: نمذج العملية




```
pred move_dir (fs, fs': FS, d, to: Dir) {
d + to in fs.dirs
fs'.contains = fs.contains - Dir->d + to->d
fs'.files = fs.files and fs'.dirs = fs.dirs
 }
```

بعدئذ يُنمذج المُصمِّم عملية تحريك (حرِّك الدليل) ("move-dir") لمنظومة الملفات قبل ("fs") إلى منظومة للملفات بعد ("fs'"). تشمل العملية دليلين: "d," وهو الدليل الذي سيتم نقله، و"to,"، وهو المكان الذي يُنقل الدليل إليه. تلي ذلك ثلاثة قيود تصف المفعول المقصود في ثلاثة أسطر منفصلة: أولا، كل من المكوِّنة التي ستُحرَّك وموقعها الجديد هما دليلان ضمن منظومة الملفات. ثانيا، وهنا يتركّز جوهر العملية: إذ تستدعي أن يكون جدول المحتوى الجديد نفس الجدول القديم مع حذف كل جدولة من دليل إلى "d"، وإضافة جدولة من "to" إلى "d". والسطر الثالث يقول إنه لا يخضع شيء آخر للتغيير.

الخطوة الثالثة: تحديد المتطلبات



```
pred reachable (fs: FS) {
 some root: fs.dirs | fs.(dirs+files) in root.*(fs.contains)
 }

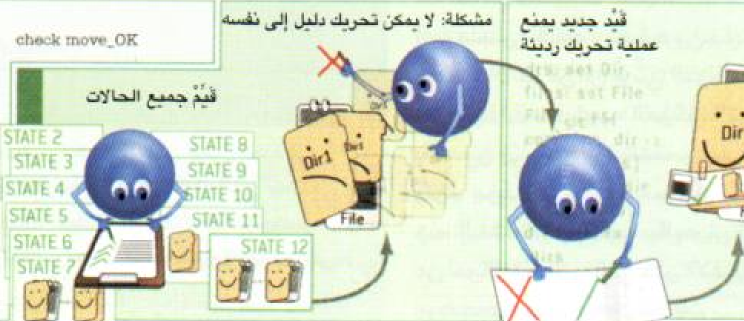
assert move_OK {
 all fs, fs': FS, d, to: Dir |
  reachable (fs) and move_dir (fs, fs', d, to) implies reachable (fs')
 }
```

ثم يصيغ المصمم شرطا حيويا: يجب أن يكون كل ملفٍ وكل دليل **بالمتناول** reachabe (أي يمتلك مساراً يوصل إليه) انطلاقاً من جذر ما. ويُسجِّل هذا في نموذج أَلُويْ بوصف «**توكيدة**» assertion تسمى "move-ok" وتنبئ بأن تنفيذ عملية التحريك لا يجعل ملفا أو دليلا بعيدا عن المتناول انطلاقا من جذر ما.

ينبغي أن تكون جميع الملفات بالمتناول

الخطوة الرابعة: جد الخطأ وأصلحه

```
check move_OK
```



تُنفِّذ الأداة أَلُويْ **التعليمة** "check move-ok" بتوليد جميع الحالات الممكنة للنظام (حتى حجم معين) وبفحص التوكيدة لكل منها، وبذلك تُحاكي التحريكات الممكنة التي يمكن أن تحصل حين تشغيل البرنامج. وتجد الأداة أَلُوي مثالا مضادا للتوكيدة، وهو دليل يمكن تحريكه إلى نفسه. إن هذا الفعل قد يفصل الدليل عن الجذر، جاعلا إياه بعيدا عن المتناول. ولعلاج هذه الحالة يمكن للمصمم إضافة قيد جديد لا يسمح للدليل بالتحرك إلى نفسه أو إلى أي ما سيخلّفه من أدلة.

(*) Alloy In Action

الفكرة هي محاكاة كل حالة يمكن أن يدخلها البرنامج لتحديد أن أيًّا منها لا يسبب إخفاقا.



أسهمت الأداة ألُويْ في جعل نظام الطيران منيعا على العابثين.

أول من وضعها. ففي العصور الوسطى، حين بيَّنت المراقبة الفلكية أن تنبؤات الإغريق غير دقيقة، عدَّل الفلكيون نظام بطليموس الذي كان يعتمد على الأفلاك الدائرية المتجاورة، بإضافة أفلاك دائرية متجاورة إلى تلك التي ضمَّها النموذج الأسبق. ولم تحل التنقيحات الإضافية عبر القرون المشكلة، لأن المفهوم ابتداءً كان يتضمن خطأ جسيما.

وعلى غرار ذلك، تنزع البرمجيات الرديئة إلى أن تصبح أكثر تعقيدا وأقلَّ اعتمادية، مهما بُذل من المال والوقت لتحسينها. فمن المعروف جيدا أن المشكلات الجديّة في نظم البرمجيات نادرا ما تكون نتيجة أخطاء في البرمجة؛ بل يمكن أن تُردَّ معظم الصعوبات الجسيمة التي تعانيها البرمجيات إلى أخطاء مفاهيمية، ارتُكبت حتى قبل الشروع في البرمجة. وعلى نقيض ذلك، فإن مقدارا صغيرا من النمذجة والتحليل، أثناء المراحل الأولى من تحديد المتطلبات والمواصفات أو تصميم البرنامج، لا يُكلِّف إلا قسطا طفيفا من تكلفة فحص الكود كله، لكنه يحقِّق جزءا كبيرا من المزايا التي يمكن اكتسابها من جراء تحليل شامل. إن الاهتمام بالتصميم مبكرا يدرأ مشقات مكلفة فيما بعد.

لقد ظهرت أدوات تصميم البرمجيات ببطء، لأن البرمجيات لا تخضع لقوانين فيزيائية. فالبرنامج الحاسوبي في جوهره كيان رياضياتي تُبنى القيم التي يتضمنها من البتات، وتتصف البرامج الحاسوبية بكونها متقطِّعة (كالجسيمات) بدلا من أن تكون مستمرة. فيمكن لمهندس الميكانيك، مثلا، القيام باختبار كيان فيزيائيّ ما بإجهاده مطبقا قوةً كبيرةً، مفترضا أن اجتياز هذا الكيان للاختبار يدل أنه لن يخفق حين إخضاعه لقوة أصغر قليلا. وحين يكون الكيان خاضعا لمبادئ العالَم الفيزيائي (المستمرة غالبا)، فإن تغيّرا طفيفا في أحد المقادير يؤدي إلى تغيُّر طفيف في مقدار آخر. لكنْ من سوء الطالع، أن مثل هذا التعميم لا ينطبق على البرمجيات، إذ لا يمكن الاستقراء من اختبار إلى آخر. وإذا عمل جزء من البرمجيات عملا صحيحا، فإن هذا لا يُنبئ بشيء عن عمل جزء مشابه من الكود، لأنها متقطعة ومنفصلة بعضها عن بعض.

وفي الأيام الأولى من تطور علم الحاسوب، أمِل الباحثون أن يتمكن المبرمجون من إثبات صحّة برامجهم بالطريقة التي يُثبت بها الرياضياتيون نظرياتهم. لكن عدم وجود طريقة لأتمتة الخطوات الكثيرة المتصلة بالإثبات، يفرض على خبير بشري القيام بالقسط الأكبر من العمل. إلا أن هذه المهام، التي تسمى بالطرائق الرسمية الشاقة، لم تكن عمليّة إلا من أجل أجزاء متواضعة من البرمجيات البسيطة نسبيا ولكنْ الشديدة الأهمية في الوقت ذاته، مثل خوارزمية للتحكم في تقاطعات السكك الحديدية.

وفي الآونة الأخيرة اعتمد الباحثون نهجا مختلفا كليا، يستخدمون فيه قدرةَ المعالجات الأسرع المتوافرة اليوم، لاختبار كل مشهد ممكن. إنّ هذا المنهج، الذي يسمى **فحص النموذج** model checking، يُستخدَم على نطاق واسع حاليا للتوثق من تصاميم الدارات المتكاملة. والفكرة الكامنة في هذا المنهج ترتكز على القيام بمحاكاة كل متتالية ممكنة من الحالات (حالات المنظومة في أوقات معينة) التي يمكن أن تنشأ في الواقع للتأكد من أنّ أياً منها لن يؤدي إلى إخفاق. وفي حالة تصميم **شيپة ميكروية** microchip، فإن عدد الحالات التي يجب تقييمها غالبا ما يكون هائلا: من رتبة 10100 أو أكبر. والتحدي في حالة البرمجيات أكثر حدَّة: لكن استخدام تقنيات تكويد ذكية (يمكن بوساطتها تمثيل مجموعات كبيرة من حالات البرمجيات تمثيلا مضغوطا جدا) يسمح بتفحّص كل حالة بالنظر في هذه المجموعات الكبيرة على نحو متوانٍ، أي في الوقت ذاته.

لكن ما يُؤسف له أن منهج فحص النموذج لا يستطيع بمفرده معالجة حالاتٍ ذات بنى معقدة، تميِّز معظم تصاميم البرمجيات. لقد طَوَّرت مع زملائي الباحثين نهجا يشترك مع منهج فحص النموذج بالروح نفسها، لكنه يستخدم آلية مختلفة. فعلى غرار منهج فحص النموذج، يَعتبر المنهج الذي طوّرناه جميع المشاهد الممكنة (مع أنه يجب، في الواقع، وضع بعض الحدود لإبقاء المسألة **محدودة** finite، لأن البرمجيات ليست مقيدة بالقيود الفيزيائية التي يفرضها العتاد). لكنْ خلافا لمنهج فحص النموذج، لا تتفحص تقنيتنا المشاهد جميعها، الواحد تلو الآخر، بل تبحث عن مشهد رديء، مشهد يؤدي إلى إخفاق، بتعبئة كل حالة بطريقة مؤتمتة، البتة تلو الأخرى، وبترتيب غير محدد.

يمكن مقارنة العملية بقيام ذراع إنسالية بوضع كل قطعة من قطع أحجية الصورة المُقطّعة في مكانها، الواحدة تلو الأخرى، إلى أن تظهر الصورة الكاملة في النهاية. وإذا كانت تلك الصورة موافقة لمشهد رديء، تكون الأداة ألُويْ قد أدّت وظيفتها. وبذلك تعامل الأداة ألُويْ تحليل التصميم وكأنه أحجية يجب حلُّها. إن بعض فاحصات النماذج البرمجية التي طُوِّرت مؤخرا تعمل بهذه الطريقة أيضا.

الحل هو أحجية(*)

لفهم كيف تحل الأداة ألُويْ أحاجي تصميم البرمجيات، من المفيد أن ننظر في لغز قديم: يذهب مزارع إلى السوق، ويشتري ثعلبا وإوزةً وكيسا من الذرة. وعليه في

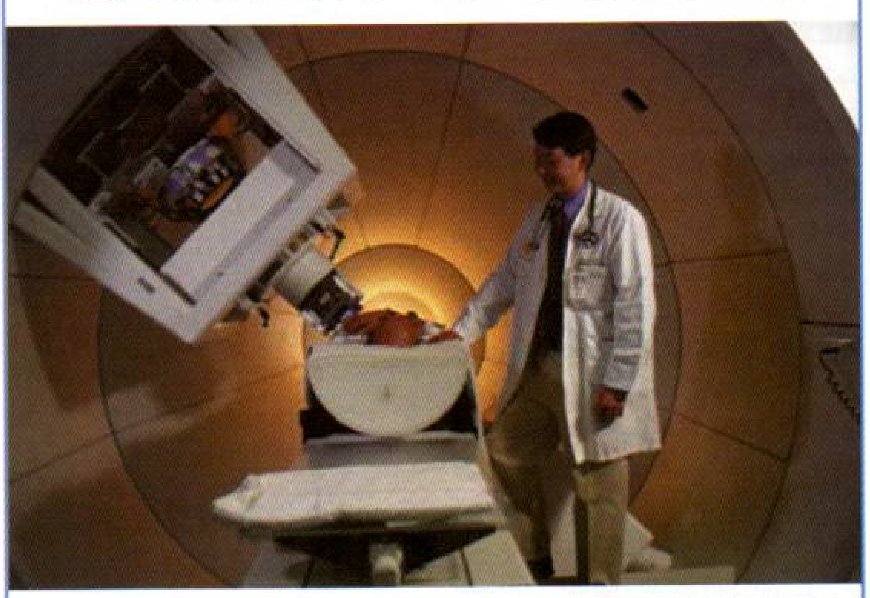
(*) The Solution Is a Puzzle

تفلية آلات معالجة السرطان(*)

تعتمد التجهيزات الطبية الحديثة على البرمجيات في كل جانب من جوانب عملها تقريبا. وفي آلة تُستخدم لعلاج السرطان، فحتى زر "التوقف للطوارئ" ليس مفتاح فصل كهربائي فعليّ، بل هو برنامج حاسوبي، ويؤدي كبس هذا الزر إلى تنفيذ نحو 1500 سطر من الكود لإيقاف النظام، ما لم تكن ثمة مشكلة أو عيب تصميمي في البرنامج طبعا. وهنا يأتي دور الأداة أَلُويْ التي تحلل البرامج للعثور على مشكلات التصميم.

بالعمل مع مطوّري منظومة علاج السرطان، مثلا، استخدمنا الأداة أَلُويْ لاستقصاء تصميم بعض سماته. وفي إحدى الحالات، أخذنا تصميما لنظام جدولة جديد يحدد غرفة العلاج التي يجب إرسال الحزمة إليها. وجهّزنا الأداة أَلُويْ للبحث عن مشاهد يمكن فيها للتفاعل بين المُشغِّل في غرفة التحكم الرئيسية والمعالجِين في غرف العلاج أن يُؤدي إلى نتائج غير متوقعة. وقد وجدت الأداة أَلُويْ مشاهد متنوعة لم تكن متوقعة أصلا.

وفي حالة أخرى، طبقنا الأداة أَلُويْ على تصميم بروتوكول مُحْكَم لوضع المريض تحت الحزمة البروتونية، وقد تبين أن البروتوكول يؤدي إلى نتيجة خفية وغير متوقعة: تغيُّر زاوية حامل مصدر الإشعاع مع الوقت، حتى لو لم تُضبط عمدا. وباستخدام نموذج صغير للأداة أَلُويْ بينا كيف يمكن، باختيار التجريدات الصحيحة تقليص هذه المشكلة إلى ذات المشكلة، البسيطة نسبيا، لتصميم المنظومة التي تتذكر وضعيات مقعد السائق في السيارة. وفي الواقع، فإن منظومة المعالجة بالحزمة البروتونية تتضمن الكثير من وسائل الحماية، ولم تكن مشكلة حامل مصدر الإشعاع خطيرة. لكن لو استُخدمت التجريدات الصحيحة من البداية، لكان التصميم أبسط بكثير، ولكان تشغيل البرمجيات أسهل كثيرا.



إن اتخاذ المريض لوضعية صحيحة، يتم التحكم فيها بوساطة البرمجيات، مهم جدا للتحكم في جرعة الإشعاع في آلة معالجة السرطان. وقد ساعدت الأداة أَلُويْ على تحسين تصميم البرمجيات لآلة مشابهة.

طريقه إلى البيت أن ينقل مشترياته عبر نهر في قارب. لكن القارب لا يحمل إلا المزارع وأحد مشترياته في آن واحد. وهنا تكمن المشكلة: إذا لم تكن ثمة مراقبة، فإن الثعلب قد يأكل الإوزة، والإوزة قد تأكل الذرة. فكيف يستطيع المزارع نقل جميع مشترياته إلى ضفة النهر الأخرى غير منقوصة؟

يتطلب حلّ هذا النوع من الأحاجي إيجاد مَشاهد تحقِّق مجموعة من القيود، وسنؤدي هذه المهمة ذهنيا بتصور سلسلة من الخطوات: ينقل المزارع الإوزة أولا، ثم ينقل الثعلب ويُعيد الإوزة إلى ضفة النهر الأولى، حيث يتركها وينقل الذرة، ثم يعود وينقل الإوزة. وبالتحقق من أن كل خطوة تتفق مع القيود، يمكن ضمان سلامة كل من مشترياته.

يفرض التصميم الناجح للبرمجيات مجموعة مشابهة، وإن كانت أشد تعقيدا بكثير، من القواعد. ولكي تكون أداة فحص التصميم مفيدة، يجب إيجاد أمثلة مضادة: أي حلول للأحجية التي تحقِّق جميع القيود «الجيِّدة» (والتي يمكن لذلك حدوثها حين تشغيل البرنامج) وقيدا إضافيا «رديئا» (يعطي لذلك نتيجة غير مقبولة). إذا ظهرت مثل هذه الأمثلة المضادة، فإنها ستكشف عن عيوب في التصميم. وهكذا، ففي حين أن مَنٍ يحل الأحاجي يكون سعيدا بعثوره على حلٍّ «لمعضلة المزارع»، فإنٍ إيجاد حلٍّ لأحجية تصميم البرمجيات يُعد خبرا سيئا: إذ يعني وجود مشهد غير مرغوب فيه، وأن في التصميم عيبا. ومن وجهة نظر عملية، قد لا يقود المثال المضاد نفسُه إلى أية مشكلة. لكنه قد يكشف عن تناقض في الكيفية التي وَصَف بها المصمم أصلا النتائج غير المقبولة. وفي الحالتين ثمة ما يجب إصلاحه: إما التصميم، أو توقعات المُصمِّم.

إن الصعوبة الكبرى في البحث عن الأمثلة المضادة هي أن عدد المشاهد المحتملة في تصميمٍ ما، حتى لو كان متوسط التعقيد، للبرمجيات يكون عادةً كبيرا جدا، في حين أن قسطا صغيرا جدا من هذه المشاهد يقابل أمثلة مضادة. تخيَّل محاولة وضع خطة لتحديد مَنْ سيجلس بجانب مَنْ في حفل زواج. فإذا كان جميع الحضور متوافقين فيما بينهم، كان الحلّ بسيطا. لكنْ تغدو المسألة أكثر صعوبة إذا تضمنت لائحة المدعوين أزواجا مطلقين ينبغي إجلاسهم بعيدا عن بعضهم بعضا. لنفترض الآن مخططا لتنظيم إجلاس يخص حفل زواج ‹روميو› من ‹جولييت›. فإذا كان ثمة 20 مقعدا، وكان بمستطاع أي من 10 ضيوف الجلوسَ في كلٍّ منها، لَنجمت 10^{20} تركيبة ممكنة. وحتى لو أمكن فحص بليون مشهد في الثانية، فإن الحاسوب يتطلَّب 3000 سنة لاستقصاء جميع تلك التراكيب.

في ثمانينات القرن العشرين، عرّف الباحثون مشكلات من هذا النوع باعتبارها فئة خاصّة من المشكلات التي في أسوأ الحالات لا يمكن حلّها، إلا بالنظر إلى جميع المشاهد الممكنة. لكنْ في العقد الماضي، وبتوافر استراتيجيات بحث وخوارزميات جديدة، واعتمادا على القدرة الحاسوبية المستمرة في التنامي، ابتكر الباحثون أدوات سمِّيت حلّالات تحقيق الشروط أو SAT (من الكلمة satisfiability)، تستطيع معالجة هذه المسائل بسهولة نسبيا. وكثير منها متوافر الآن مجانا ويستطيع غالبا حل مشكلات تتضمن ملايين القيود.

(*) Debugging Cancer Therapy Machines

أهمية التجريد[*]

إنّ الأداة ألُّويْ، كما تدل تسميتها (في الإنكليزية) هي خليط من عنصرين يساعدان على جعل تصاميم البرمجيات أشدّ مناعة. أحدهما لغة جديدة تساعد على إيضاح بنية تصميم البرنامج وسلوكه، والآخر هو محلِّل مؤتمت (يتضمن الحلاّل SAT) يبحث في عدد كبير من المشاهد الممكنة.

الخطوة الأولى في استخدام الأداة ألُّويْ هي وضع نموذج دقيق للتصميم، يتجاوز الرسم التقريبي أو المخطط الانسيابي الذي يُستخدم عادة في هندسة البرمجيات، ليوضح «الأجزاء المتحركة» في المنظومة وتفاصيل تصرفاتها ومكوناتها، المرغوب وغير المرغوب منها. فيكتب مهندس البرمجيات أول الأمر تعريفات لمختلف أنواع مكونات التصميم، ثم يُجمِّع هذه المكونات في مجموعات رياضياتية، أي مجموعات من الأشياء المتشابهة في بناها وسلوكها (كالمجموعة التي تضمّ أهالي كلٍّ من العروسين، على سبيل المثال) التي تربطها علاقات رياضياتية (من قبيل العلاقة التي تربط الضيوف الجالسين جنبا إلى جنب).

بعدئذٍ يأتي دور حقائقَ تضع قيودا على هذه المجموعات والعلاقات. ففي تصميم البرمجيات، تتضمن الحقائق آليةَ المنظومة البرمجية، وافتراضات حول المكوِّنات الأخرى (لنقل: تعليمات حول الكيفية التي يُتوقَّع أن يتصرف بها مستخدمو البرمجيات). إن بعض هذه الحقائق هي افتراضات بسيطة، كأن لا يجلس أحد من آل العريس بجوار أحد من آل العروس في آن واحد، وأن يجلس كل ضيفٍ بجانب ضيفين آخرين تماما. وبعضها يعبِّر عن التصميم نفسه: في خطتنا للجلوس، مثلا، القاعدة التي تنص على أن كل طاولة، باستثناء الطاولة الرئيسية، تُخصَّص إما لعائلة معينة أو لأخرى.

وأخيرا، هناك **توكيدات** assertions، هي بمثابة قيود يُتوقَّع أن تنبثق عن الحقائق. وفي مثالنا، فباستثناء ‹روميو› و ‹جولييت›، يجب ألا يُجلَس شخص من آل العروس، من أسرة ‹كابوليت› بجوار واحد من آل العريس، من أسرة ‹مونتاكيو›. إن التوكيدات تقول إن المنظومة لا يمكن أن تصبح في حالة ما غير مرغوب فيها، وإن متتاليات معينة من الأحداث السيئة لا يمكن أن تحصل البتة.

ويسخِّر العنصرُ المحلِّلُ من الأداة ألُّويْ الحلاَّلَ SAT للبحث عن أمثلة مضادة - أي عن مشاهد ممكنة لمنظومة البرمجيات يسمح بها التصميم، لكنها لا تجتاز فحص المنطق (الذي ينفِّذ بكتابة توكيدات يجب أن تكون صحيحة إذا كان النموذج قد صُمِّم تصميما صحيحا). بكلمات أخرى، تحاول هذه الأداة بناء حالاتٍ تُوافق الحقائق، لكنها تخرق توكيدا منصوصا عليه. وفي حالتنا، يمكن أن تولِّد الأداة مخطَّطَ إجلاس الضيوف: يجلس فيه مدعوٌ من آل ‹كابوليت› (غير جولييت) إلى جانب مدعوٍّ آخر من عائلة ‹مونتاكيو› (غير روميو) على الطاولة الرئيسية. ولوضع القاعدة التي يتعين اتباعها في تصميم خطّة الإجلاس، يمكننا إضافة حقيقة جديدة هي أن على ‹روميو› و ‹جولييت› أن يحتلا الطاولة الرئيسية لوحدهما. وهنا لا يمكن للأداة ألُّويْ أن تجد مثالا معاكسا.

تشكل المجموعات والعلاقات والحقائق والتوكيدات معا تصريحات هي بمثابة **تجريد** abstraction يمثِّل جوهر تصميم البرمجيات. فتدوين هذه الأمور كلها يجعل حدود عمل المنظومة واضحة، ويجبر المهندسين على التفكير مليًا في أيّ من التجريدات التي ستعمل على النحو الأفضل. إذ إن الاختيار الرديء للتجريد يقبع في

التتمة في الصفحة 69

(*) Importance of Abstraction

(**) Tools for Checking Software Design

أدوات لتفحّص تصاميم البرمجيات[**]

طوَّر علماء الحاسوب جيلا جديدا من الأدوات لتفحّص تصميم البرامج (إضافة إلى الأداة ألُّويْ) يمكن للمبرمجين استخدامها لتحليل واختبار كوداتهم بحثا عن عيوب بنيوية ومفاهيمية يمكن أن تؤدي إلى إخفاق المنظومات التي تشغلها البرمجيات. إن أدوات تقييم التصميم هذه، التجارية منها **والمفتوحة المصدر** open source، تقوم على لغات متخصصة عالية المستوى (حواش تلخص لبِنات الكود) طوَّرها الباحثون لتيسير توصيف ونمذجة ومحاكاة المناهج المختلفة المتبعة في تطوير البرمجيات.

وتتضمن هذه الأدوات محركات تحليل مؤتمتة تستكشف العدد الهائل من التنفيذات الممكنة للمنظومة بحثاً عن عيوب خفيّة في التصميم يمكن أن تحمل النظام على التصرف على نحو غير مقبول، وتسمى إحدى هذه الأدوات المثال المضاد. تحتوي أدوات تصميم البرمجيات هذه في الكثير من الأحيان تسهيلات يمكن أن تساعد المصممين على رؤية الأمثلة المضادة أو العلاقات بين لبنات الكود.

اللغة	الأداة	المصدر	الموقع على الإنترنت
B	B-Toolkit	B-Core	www.b-core.com
	Atelier-B	Steria	www.atelierb.societe.com
	Pro-B	University of Southampton	www.ecs.soton.ac.uk/~mal/systems/prob.html
CSP	FDR	Formal Systems Europe	www.fsel.com
FSP	LTSA	Imperial College London	www.doc.ic.ac.uk/~jnm/book/ltsa/Ltsa.html
Lotos	CADP	INRIA Research Institute	www.inrialpes.fr/vasy/cadp/
OCL	USE	University of Bremen	www.db.informatik.uni-bremen.de/projects/use
PROMELA	Spin	Bell Laboratories	spinroot.com/
Statecharts	Statemate	I-Logix	www.ilogix.com
VDM	VDMTools	CSK Corp.	www.csk.com/support_e/vdm/ www.vdmbook.com/tools.php
Z	Jaza	University of Waikato	www.cs.waikato.ac.nz/~marku/Jaza/
Zing	Zing	Microsoft Research	research.microsoft.com/zing/

تملُّك مادة الحياة(*)

لم تتسبب براءات الدنا *DNA* في الإخلال بالأبحاث الطبية الحيوية والمعايير المجتمعية الذي توقعه الناقدون. ولكن الطوفان قد يكون في الطريق.

<G. ستيكس>

هناك جينة في خلايا جسدك تؤدي دورا مفتاحيا في المراحل المبكرة من نمو النخاع (الحبل) الشوكي، وملكيتها تعود إلى جامعة هارفرد. وهناك جينة أخرى تصنع البروتين الذي يستعمله ڤيروس التهاب الكبد من النمط A كي يرتبط بالخلايا؛ إن وزارة الصحة والخدمات الإنسانية الأمريكية تملك البراءة الخاصة بها. كما أن الشركة إنسايت Incyte Corporation [التي مقرها الرئيسي في ويلمنگتون بولاية ديلاور] استحوذت على براءة الجينة الخاصة بمستقبل الهستامين: المركب الذي تحرره الخلايا أثناء موسم حمى الكلأ. إنَّ ما يقارب نصف عدد الجينات المعروفة بانخراطها في التسرطن قد شملته البراءات.

تحمل الخلايا البشرية نحو 000 24 جينة، تشكل برنامج الخلايا المئة ألف بليون (مئة تريليون)، التي تكوِّن الجسم البشري. ومع بلوغنا منتصف العام الفائت (2005)، حرر مكتب الولايات المتحدة للبراءات والعلامات التجارية براءات لصالح الشركات والجامعات والوكالات الحكومية والمجموعات غير الربحية، شملت ما يقرب الـ20 في المئة من الجينوم البشري. وإذا توخينا المزيد من الدقة، فهناك طبقا لدراسة نُشرت في عدد 2005/10/14 من مجلة **ساينس** *Science* من قبل <F. ورتي> و<L. K. جنس> [من معهد ماساتشوستس للتقانة] 4382 من أصل الـ886 23 جينة، التي اختُزنت تسلسلاتها في قاعدة بيانات المركز الوطني للتقانة الحيوية والمعلومات، تحمل براءة واحدة على الأقل. وتمتلك الشركة إنسايت بمفردها ما يقرب العشرة في المئة من مجمل هذه الجينات البشرية.

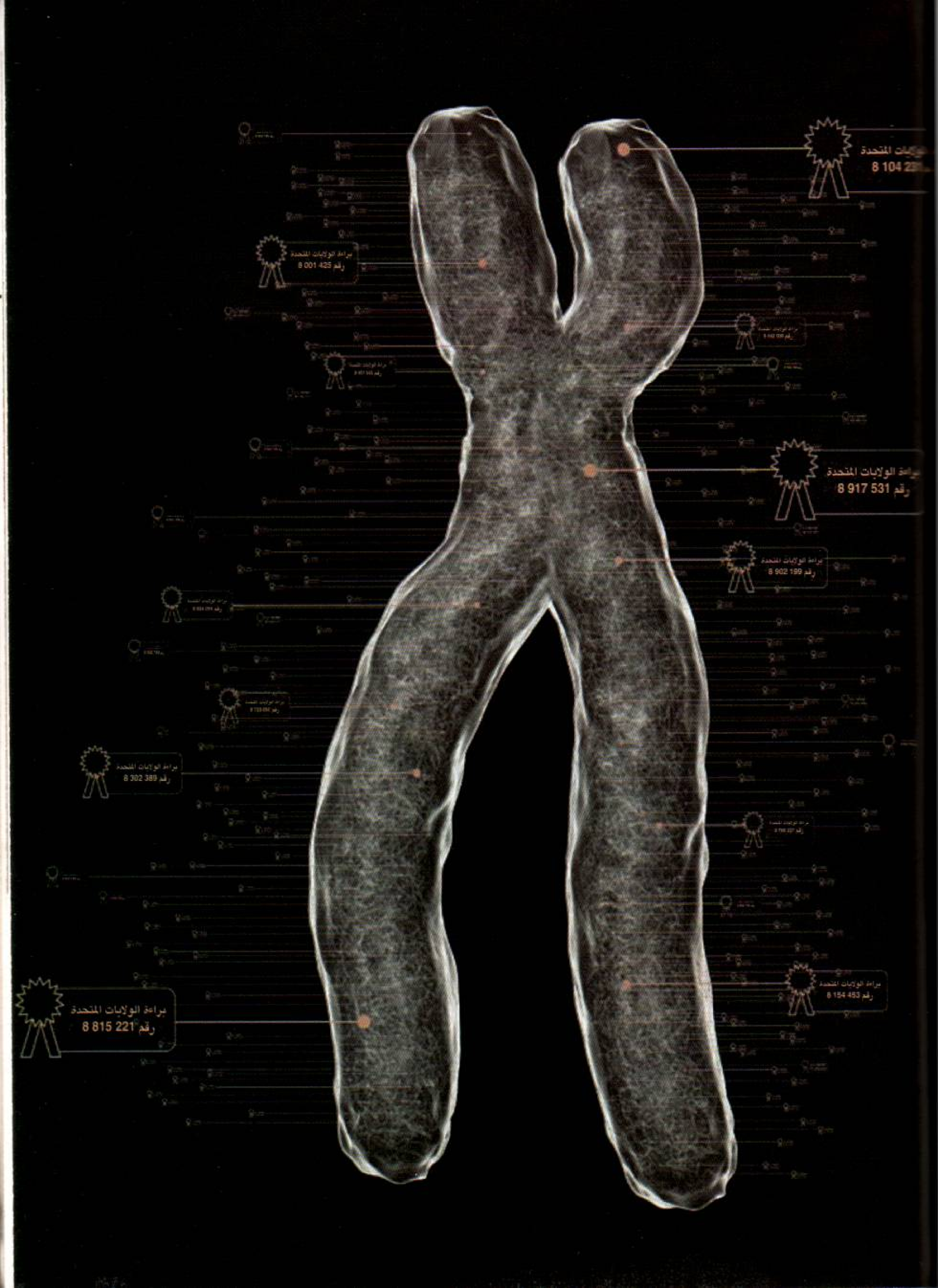
ويؤكد مسح قاعدة البيانات الجينية أن تسجيل البراءات الخاصة بالحياة، قد أمسى اليوم راسخا بقوة. ومع ذلك، فلاتزال هذه الظاهرة تَصدُم العديد من البشر كأمر غريب وشاذ ومقلق. «كيف يمكنك أن تحوز براءة الجينات الخاصة بي؟» هو السؤال الأول الذي غالبا ما يتبادر إلى الذهن، و«كيف يمكن لشخص ما أن ينال حقوقَ ملكية نمط من الفئران أو الأسماك، في حال «ابتكرت» الطبيعة ـ لا الإنسان ـ جينات هذا الفأر أو ذاك السمك؟. ما الذي سيحدث للبحث العلمي المفتوح، في حال أضحى نصف عدد كامل الجينات السرطانية المعروفة مشمولا في براءات؟. هل يعني ذلك أن على الباحثين أن يخصصوا للمنازعات القضائية وقتا يفوق ما يخصصونه في البحث عن علاج ما؟.»

يتابع الأخلاقيون والقضاة والعلماء ومتفحصو البراءات هذه المناقشات، التي ستنمو وتحتد في حقبة جديدة من طب يتسم بالتوجه الشخصي ويبحث في الجينوميات والپروتيوميات التي تتفحص في آنٍ واحد فعاليات الكثير من الجينات أو البروتينات المختلفة. إذًا، سيعول الأطباء بشكل متزايد، على اختبارات مسجلة في براءات تتيح للسريريين (الإكلينيكيين) أن يطابقوا المرضى، ذوي السمات الوراثية المحددة، مع العقاقير الأفضل. وبالفعل، يقوم الباحثون حاليا عمل جينومات بأكملها. ومن المحتمل إذًا أن ينتهي عدد كبير من الجزيئات البيولوجية المستعملة في هذه الدراسات المعقدة، مثقلا باشتراطات الترخيص، التي ستحول إما إلى عدم إجراء أبحاث تقود إلى علاجات جديدة، أو إلى تغذية تضخم كلفة الرعاية الصحية الوطنية، المتخمة أصلا.

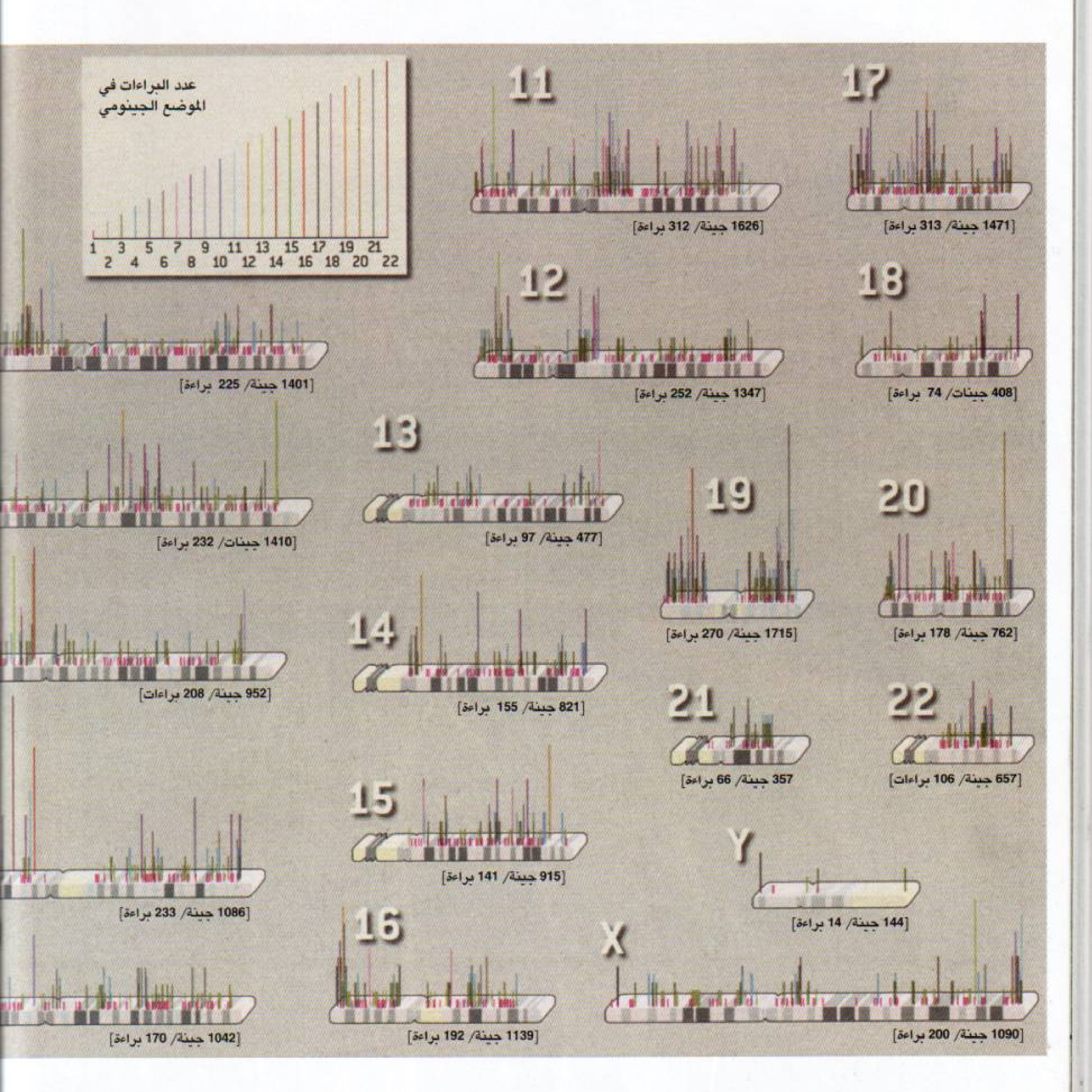
نظرة إجمالية/ تسجيل الجينات في براءات اختراع(**)

- صادف عام 2005 الذكرى الخامسة والعشرين لقرار المحكمة الحَدَثي، الذي فتح بوابة طوفان من البراءات لكل من الدنا والكائنات الحية الكاملة.
- إن ما يقارب خُمس عدد جينات الجينوم البشري، الذي يبلغ قرابة 000 24 جينة، يشتمل على براءة واحدة أو أكثر. كما أن 50 في المئة تقريبا من الجينات المسرطنة المعروفة سُجلت في براءات.
- عموما، الإعاقة التي يُخشى منها على الأبحاث الأساسية نتيجة مُلكية كل من الوسائل القائمة على الجينات وعلى المعرفة الحرجة، لم تتبلور بعد، ولكن هذا قد يحدث مع دخول الاكتشافات الجينومية والپروتيومية حيزَ الاستثمار التجاري.
- عموما لقد تم في الولايات المتحدة تجاهل القضايا الأخلاقية المرتبطة بالبراءات لدى تطبيق واتباع سياسات وقرارات قانونية؛ في حين لاتزال هذه الموضوعات في حيز اعتبارات كل من أوروبا وكندا.

(*) OWNING THE STUFF OF LIFE
(**) Overview / Genetic Patenting



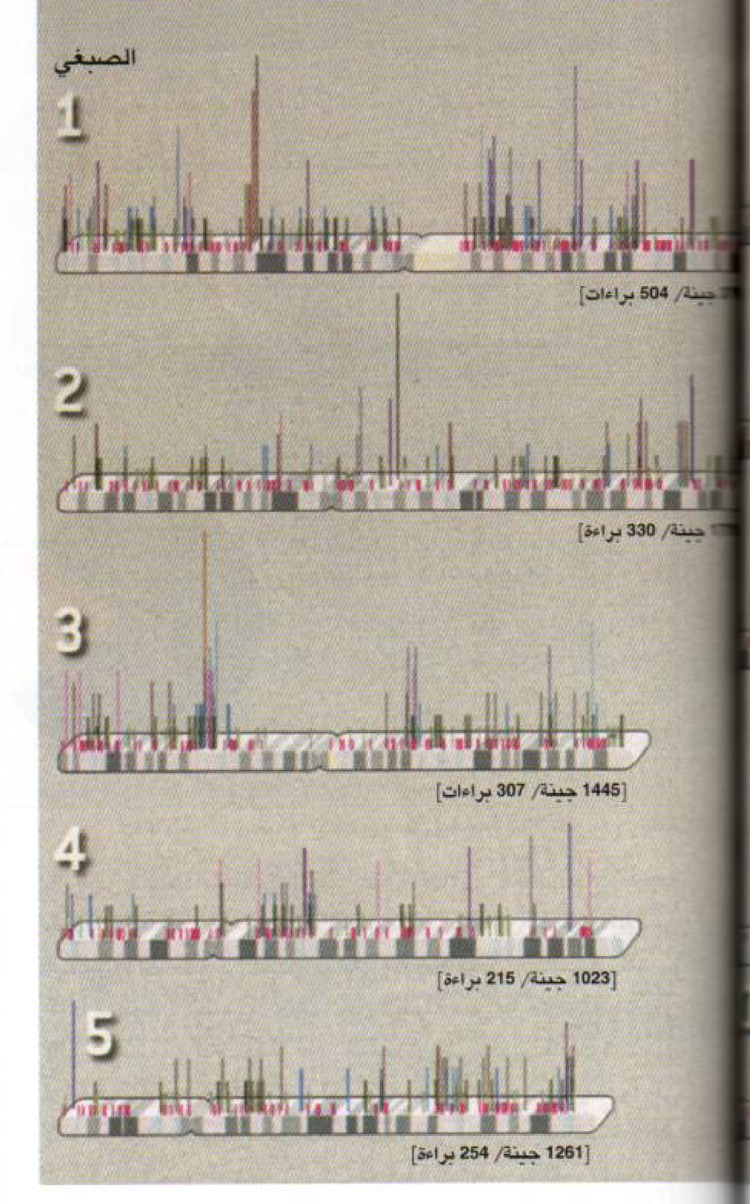
براءة الولايات المتحدة
رقم 8 001 425
براءة الولايات المتحدة
رقم 8 917 531
براءة الولايات المتحدة
رقم 8 902 199
براءة الولايات المتحدة
رقم 8 302 389
براءة الولايات المتحدة
رقم 8 815 221
براءة الولايات المتحدة
رقم 8 154 453



إن السؤال حول «من يمتلك الحياة»، قد سبق وأن طرح. ولكن ما أخذه باحثو معهد ماساتشوستس للتقانة بعين الاعتبار، من تقاطع للملكية الفكرية مع البيولوجيا الجزيئية، تزامن مع الذكرى الخامسة والعشرين لقرارٍ كان بمثابة نقطة تحول؛ اتخذته المحكمة العليا في الولايات المتحدة الأمريكية وقضى بإمكان تسجيل الكائنات الحية في براءات، في حال كانت هذه تنطوي على تدخل بشري؛ أي عندما يكون بإمكاننا، من حيث الجوهر، أن نصنف هذه الكائنات على أنها «صنيعة» الإنسان.

في عام 1972، تقدم <M .A>. شاكرباتي> [وهو مهندس لدى «جنرال إلكترك»] طالبا تسجيل براءة متمثلة في سلالة متفردة من بكتيرات[1] **الزائفة** pseudomonas، قادرة على تفكيك بقع النفط، بكفاية تفوق ما ينجزه مختص بالمعالجة الحيوية، يستعين بعدة سلالات لإنجاز ذات المهمة. إن <شاكراباتي> لم يصنع هذه السلالة عبر ما ألفناه من تطبيقات للهندسة الجينية. في الواقع، لم تبتكر طرائق تجديل **الدنا** DNA المأشوب إلا في العام الذي تقدم فيه هو بطلب تسجيل البراءة. عوضا عن ذلك، «سمكر» <شاكراباتي> هذه البكتيرات بطريقة أكثر تقليدية؛ وذلك عبر حثها على قبول پلازميدات (حلقات من الدنا)،

(1) جمع بكتيرة.



تشير هذه الخريطة لصبغيات الإنسان إلى توزع كم البراءات المسجلة للجينات في الولايات المتحدة الأمريكية. ويمثل كل عمود ملون عدد البراءات في قطعة معينة من الصبغي، التي يمكن أن تشمل عدة جينات. يمكن للبراءة الواحدة أن تُغطي عدة جينات، كما يمكن للجينة الواحدة أن تُغطى ببراءات عديدة. ونتيجة لذلك، فإن عدد البراءات المشار إليها والخاصة بكل صبغي، لا يساوي بالضرورة مجموع القيم الممثلة بالأعمدة الملونة.

أُخذت من سلالات أخرى تحوي الخصائص المطلوبة. حينذاك رفض مكتب البراءات طلب <شاكراباتي> هذا، معللا ذلك بعدم إمكانية تسجيل سلالات هي «كائنات حية» و«نتاج الطبيعة».

وفي عام 1980، عندما قررت المحكمة العليا النظر في استئناف دعوى <شاكراباتي>، كان واقع البيولوجيا الجزيئية يتغير بصورة جذرية. فقد أصبح تجديل الدنا من كائن حي إلى آخر أمرا شائعا. وفي ذات العام نشأت، شركة جديدة، هي أمجن Amgen، بغية استثمار هذه التقنية الوليدة، المتمثلة في قطع الدنا ولصقه. كما نُشرت في حينه، ورقة علمية تصف بالتفصيل كيف تم استعمال طرائق التأشيب في تركيب الإنترفيرون؛ حاز على إثرها كل من <S. كوهين> و<H. بوير> براءة تقنية مفتاحية لمنابلة الدنا. لقد كان الجو مفعما بالرغبة في تعزيز التقانة. ووافق الكونغرس على تشريع بيه-دول Bayh-Dole، الذي يتيح للجامعات الانخراط في اتفاقيات خاصة بالترخيص الحصري للتقنيات التي تملك براءاتها. كما أجاز تشريع ستيڤنسون-وايدلر Stevenson-Wydler لمعاهد الصحة الوطنية والوكالات الفدرالية الأخرى ما أجازه للجامعات.

وفي خضم ذلك تلقّى قضاة المحكمة العليا «مذكرات حول القضية مقدمة من قبل أشخاص أو مجموعات لهم اهتمام بها من دون أن يكون لهم علاقة مباشرة بها»[1]، ارتأى البعض الموافقة والآخر رفض الطلب الوارد في براءة <شاكراباتي>. وحثت مجموعات متنوعة، من الشركة جننتيك Genentech إلى أعضاء مجلس جامعة كاليفورنيا، على قبول طلب البراءة، مستشهدة - على سبيل القصر لا الحصر - بفوائد ستنعكس على كل من جهود التطوير الدوائي والإصلاح البيئي ومساعي إيجاد مصادر جديدة للطاقة؛ في حين أن **هيئة مصالح الأهالي** Poeple Business Commission، التي يشارك في رئاستها الناشط <J. ريفكين> شجبت بشدة تحوير الحياة، ووصفت كوارث بيئية وشيكة كعواقب لذلك.

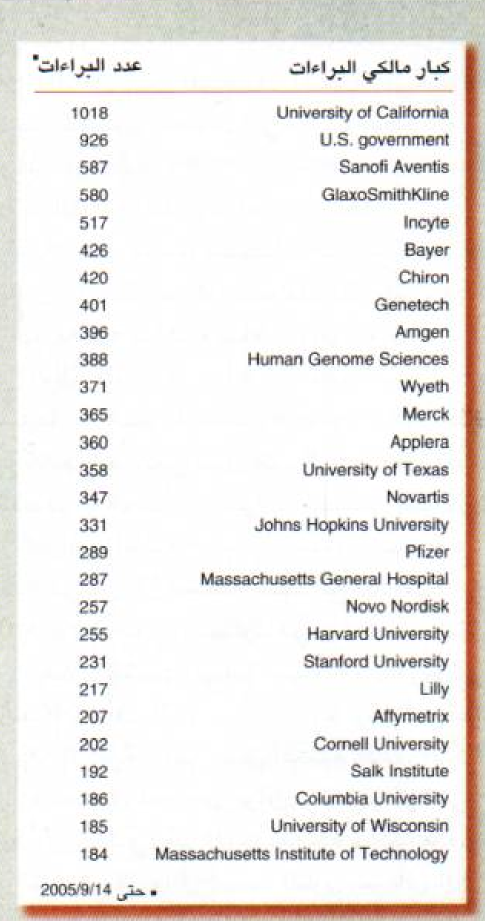
وبالاستناد إلى الأكثرية، رفض رئيس المحكمة العليا <W. برگر> الاعتراضات حول تسجيل الحياة في براءات، باعتبار أنها في غير موضعها، قائلا «إن أي شيء على الأرض من صنع الإنسان» يمكن تسجيله في براءة. وبقي التساؤل الوحيد المطروح من قبل المحكمة العليا، فيما إذا كانت البكتيرات من «نتاج الطبيعة» أو أنها «ابتكار بشري». «لم يكن بوسع آينشتاين» تسجيل قانونه الشهير E=mc2، ولا كان بإمكان «نيوتن تسجيل قانون الجاذبية في براءة». ولكن باعتبارها نتاجا للإبداع البشري، وجب أن يكون لبكتيرات <شاكراباتي> المهندسة هذه وضع مختلف. وبرفض المحكمة لـ«عرض الأمور الشنيعة والرهيبة» الذي تقدم به <ريفكين>، أوحت المحكمة بأنها غير قادرة على الوقوف حجر عثرة في وجه التقدم. وأضاف <برگر>: أن الكم الكبير من الأبحاث التي أنجزت فعلا، عندما لم يكن لدى أي باحث معرفة أكيدة من أن حماية البراءة ستكون متاحة، يوحي بأن الإجازة التشريعية أو القضائية فيما يتعلق بإمكانية تسجيل براءة أو عدمه، تعجز عن منع العقل العلمي من سبر المجهول كعجز <كانوت>[2] في السيطرة على ظاهرة المد في البحر.

وبعد القرار الذي اتخذه خمسة قضاة ضد أربعة، اعتمدت الصناعة والهيئات الأكاديمية التفسير الواسع لإمكان تسجيل البراءة المستوحى من قضية <شاكراباتي>؛ وذلك ليس كمبرر لتسجيل براءة الجينات فحسب، بل أيضا لتسجيل مواد الحياة الأخرى، كمجمل الكائنات الحية والخلايا بما في ذلك الخلايا الجذعية، وهذه أمثلة فقط ضمن قائمة غير مكتملة. لقد اتبعت

(١) "friend-of-the-court briefs"

(٢) أمير دانمركي ارتقى عروش إنكلترا والدانمارك والنروج. يُعتقد أنه ولد عام 994 وتوفي عام 1035. (التحرير)

من يمتلك البراءات؟(*)



كبار مالكي البراءات	عدد البراءات*
University of California	1018
U.S. government	926
Sanofi Aventis	587
GlaxoSmithKline	580
Incyte	517
Bayer	426
Chiron	420
Genetech	401
Amgen	396
Human Genome Sciences	388
Wyeth	371
Merck	365
Applera	360
University of Texas	358
Novartis	347
Johns Hopkins University	331
Pfizer	289
Massachusetts General Hospital	287
Novo Nordisk	257
Harvard University	255
Stanford University	231
Lilly	217
Affymetrix	207
Cornell University	202
Salk Institute	192
Columbia University	186
University of Wisconsin	185
Massachusetts Institute of Technology	184

* حتى 2005/9/14

عدد البراءات السنوية في الولايات المتحدة ذات الصلة بالدنا أو الرنا

إن منح البراءات المرتبطة بالحموض النووية، والتي تشمل اللابشرية، أدرك ذروته في عام 2001، ثم انخفض (*الرسم البياني*)، ربما بسبب التشديد في المستلزمات. لقد أدرجت في الجدول أسماء مالكي الكثير من البراءات.



براءات الجينات البشرية

كما توضح لوحة الباي، فإن القطاع الخاص في الولايات المتحدة كان المالك الأكبر للبراءات في الجينات البشرية، والتي يبلغ عددها 688 23 جينة مسجلة في قاعدة بيانات المركز الوطني لمعلومات التقانة الحيوية، حتى الشهر 2005/4.

البراءات الأولى، التي حررت لتسجيل الجينات، عن كثب التقليد المتبع في تسجيل براءة المواد الكيميائية. ففي الواقع، الشركة «إنسايت» لا تمتلك الحقوق في جينة مُستقبِل الهِستامين الموجودة في جسمك، بل هي تمتلك فقط حقوق الشكل «المعزول والنقي» لهذه الجينة. وفي بعض الأحيان، استند فاحصو البراءات أو المحاكم إلى ما ورد في دستور الولايات المتحدة من تحريم للعبودية، كي يبرروا عدم إمكانية تسجيل براءة مضمونها إنسان ما أو أجزاء من جسده. إن البراءة بجينة معزولة ومستنسخة (منسلّة) والپروتين الذي تنتجه توفر لمالكها الحقوق الحصرية لتسويق پروتين (كالأنسولين أو هرمون النمو البشري)، بالطريقة ذاتها التي تتيح لمالك مصنع مواد كيميائية تنقية الڤيتامين B مثلا وتقديم طلب تسجيل براءة بذلك.

جهد ضئيل وأصالة أقل(**)

بنتيجة الخطى السريعة لتطور التقنيات، انقلب، مرة أخرى، الوضع في التسعينات. فتقنيات السَّلسَلة العالية السرعة، التي نشأت في ذلك العقد من الزمن وعززت مشروع الجينوم البشري، قد أخلّت بهذه المطابقة التبسيطية مع براءة المواد الكيميائية.

ليس مَيسم التسلسل المعبَّر عنه expressed sequence tag (EST) سوى قطعة من الدنا، تمت سلسلتها وتتألف من مئات قليلة من النكليوتيدات، تقع في إحدى نهايتي الجينة. ويمكن استعمال الميسم EST مسبارا لاصطياد كامل طول الجينة سريعا ضمن الصبغي (الكروموسوم). لذلك فقد بادر الباحثون إلى تقديم طلبات تسجيل براءة في الميسم EST، وكانوا أحيانا يعدون بالمئات. وقد عمدوا إلى ذلك من دون علم بحقيقة ما تفعله الجينة التي ينتمي إليها الميسم EST، إذ غالبا ما خمّن أصحابُ الطلب الوظيفةَ البيولوجيةَ لقطع الجينات، عبر دراسة قواعد بيانات الپروتينات والدنا. لقد علّق بهذا الصدد <B. ألبرتس> [الرئيس السابق للأكاديمية الوطنية للعلوم] قائلا: «إن هذا ينطوي على القليل من الجهد، وانعدام الأصالة تقريبا.»

إنّ المسوِّغ لتسجيل تسلسلات الميسم من الدنا غير واضحة الوظيفة، هو إمكانية استخدام تسلسلات الميسم EST كأدوات بحثية. ولكن هذا السبب عينه هو الذي أقلق السواد الأعظم من المجتمع العلمي. فقد يطلب أصحاب براءات تسجيل مسابير الميسم EST، إلى الباحثين، الحصول على ترخيص رسمي لاستعمال هذه الأدوات، الأمر الذي يحملهم تكلفة إضافية ويضع حواجز أمام البحث الطبي، وقد

(*) Who Owns the Patents?
(**) Little Effort, less Originality

تسجيل الحياة ببراءات: التسلسل الزمني

لقد تصارع نظام البراءات ـ ممثلا بالمحاكم والفاحصين ـ باستمرار مع التساؤل: ما الذي يمثل فعلا إبداعا (ومن ثم يستحق التسجيل في براءة)؟ وما الذي يمثل مجرد محاولة لمصادرة قانون فيزيائي أو مادة من واقع العالم الطبيعي، فيكون مبررا لرفض طلب التسجيل؟

عام 1889

لقد حدد مفوض البراءات أن النباتات، حتى المستولدة صنعيا، هي من «نتاجات الطبيعة»، لذا فهي غير مؤهلة للتسجيل في براءة. لقد حاول صاحب الطلب (في هذه الحالة شركة إكس پارت لاتيمر Ex part Latimer) أن يسجل الياف عُزلت من النبات في براءة، فرُفض طلبه.



السوسن

عام 1930

وافق كونغرس الولايات المتحدة على قانون براءة النباتات: القانون سمح بتسجيل براءة أنواع نباتية جديدة تتوالد لاجنسيا.

عام 1948

قضى حكم صادر عن المحكمة العليا أن ضم بكتيرات بعضها إلى بعض لا يُعَدُّ إبداعا [فنك برونرس سيد كومباني *(شركة الإخوة «فنك» للبذور)* ضد كالو إنوكيولنت كومباني *(شركة كالو للقاحات)*].

عام 1971

بدأت سيتيس Cetus أعمالها أولَ شركة للتقانة الحيوية.

يتسبب أيضا في إعاقة تطوير طرق تشخيصية وعلاجية جديدة.

وفي مقالتهما التي نشرتها مجلة *ساينس Science* عام 1998، عبر كل من <R. أيزنبرگ> [من كلية حقوق جامعة ميتشگان] وكذلك <A .M. هيلر> [الموجود حاليا في كلية حقوق جامعة كولومبيا] عن قلقهما من نشوء كيان **المناقض للمشاركة** anticommon، وهو الكيان المناقض لحوض المعلومات المشتركة التقليدي، الذي يتشاركه بحرية الباحثون كافة. ولقد تعززت هذه المخاوف عبر المد الجريء لبعض هذه الطلبات، والتي لم تكتف بتسجيل تسلسلات الميسم EST، بل تجاوزت ذلك لتشمل التسلسلات المجاورة لها، وهذا يمكن أن يترجم نظريا، في إمكانية تحصيل حقوق ملكية صبغي ما بأكمله.

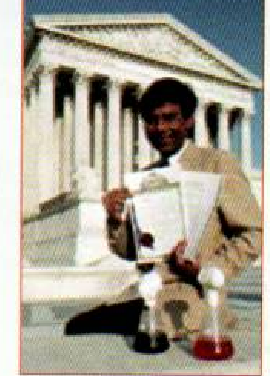
ولكن اعتراضا آخر، أكثر توظيفا لمفهوم البراءات تمثَّل في حقيقة أن استعمال الميسم EST لتحديد موضع الجينات يتم في قاعدة البيانات وليس في المختبر. فأهمية تسلسلات الميسم EST تكمن أكثر في كونها معلومات، وليس في كونها «عمليات أو آلات أو تصنيع أو تركيب مواد»، أي أشياء ملموسة مؤهلة للتسجيل في براءة. وقد سبق أن اعتبرت الأفكار المجردة، بحكم التقليد، خارج نطاق المواضيع التي تقبل التسجيل في براءة، مع أن عددا من القضايا التي بتت فيها المحاكم الفدرالية، في السنين العشر الأخيرة، قد جعل هذا التمييز أمرا عسيرا.

إن السماح بتسجيل براءة المعلومات، قد يقوض المؤثرات التي تحفظ التوازن، والتي تعد حجر زاوية مجمل هذه المنظومة. يجب على المتقدمين بطلبات التسجيل في براءة ما كمقايضة لعشرين عاما من الاحتكار، أن يصرحوا عن كيفية صنع الاختراع، بحيث يتمكن الآخرون من استعمال هذه المعرفة، لتحسين التقنيات الموجودة. إذًا، كيف سيعمل أسلوب التعويض التقليدي هذا، إذا ما كانت المعلومات التي كُشفت للآخرين، هي نفسها موضوع البراءة؟ وهل سيمثل مجرد استخدام تلك المعلومات، في سيرورة إجراءات البحث العلمي، مجازفة بانتهاك حقوق البراءة؟

واستجابة لبعض من هذه الضغوط، أصدر مكتب براءات الولايات المتحدة الأمريكية في عام 2001 دليلا جديدا نهائيا يوجه دارسي الطلبات نحو البحث عن «منفعة نوعية ومادية» لدى منحهم براءات التقنيات الحيوية. وفي معظم الفروع التِّقانية الأخرى، يعتبر مطلب كون البراءة مفيدة ثانويا، مقارنة بمعايير أخرى كتلك الخاصة بحقيقة كون الابتكار جديدا، لأن معظم المبتكرين لا يسعون إلى حماية ابتكارات لا قيمة لها. أما في ميدان التنافس على البراءات الخاصة بالحياة، فإن تقويم فائدة الابتكار أصبح حقيقة «مصفاة حرجة» في مسعى ضبط جودة البراءة. وتعيين سلسلة من الدنا ببساطة، للعمل مسبارا جينيا، أو واسما لصبغي ما، لا يكفي للوفاء بمستلزمات هذه القواعد الجديدة.

لقد كان لهذه التغييرات بالفعل أثرها. فحتى الآن، كما تبين من الأكاديمية الوطنية للعلوم، لم تُمنح براءات إلا لعدد ضئيل من تسلسلات الميسم EST. وأتى التأكيد المهم لمنهج مكتب البراءات الجديد في إنهاء البراءات العديمة الفائدة أو المفرطة في عموميتها، عبر قرار اتخذ في 2005/9/7 من قبل **محكمة الاستئناف الفدرالية المتنقلة للولايات المتحدة** U. S. Court of Appeals for the Federal Circuite (CAFC)، التي تنظر في حالات الاستئناف الخاصة بالبراءات. لقد أيدت هذه المحكمة رفض مكتب البراءات طلب شركة «مونسانتو» منحها براءة خمسة مياسم EST نباتية غير مرتبطة بمرض محدد، لأن هذه البراءة كانت ستعني كما جاء في كتاب رئيس قضاة المحكمة المتنقلة <P. ميشل> «رخصة صيد»، فتسلسلات المياسم EST هذه المطالب بها، لا يمكن أن تستعمل إلا في سبيل الحصول على معلومات إضافية حول الجينات ذات الصلة.

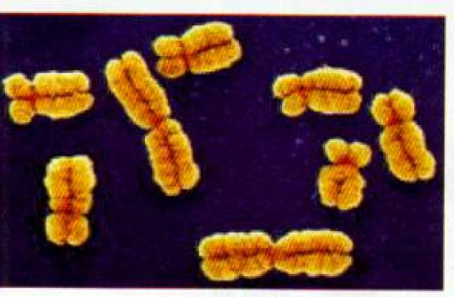
في الشهور الأخيرة، بدأت، بيانات تتعلق بالمناقض للمشاركة anticommons بالظهور. ففي مسح قامت به الأكاديمية الوطنية للعلوم، ضمن جزء من تقرير: **جني ثمار أبحاث الجينوميات والپروتيوميات** Reaping the Benefits of Genomic and Proteomic Research، الذي نُشر في أواسط الشهر 2005/11، تم جمع آراء 655



<A. شاكرابارتي>

عام 1980

قضت المحكمة العليا أن بكتيرة <A. شاكرابارتي> ليست من «نتاج الطبيعة»، لذا يمكن تسجيلها في براءة. وكذلك صرحت المحكمة أن كائنات حية أخرى من «صنع الإنسان» قابلة أيضا للتسجيل في براءة. ووافق الكونغرس على قانون بيه-دول Bayh-Dole [تعديل قوانين البراءات والعلامات التجارية]، الذي سمح للجامعات بتأمين الترخيص الحصري لممتلكاتها الفكرية.



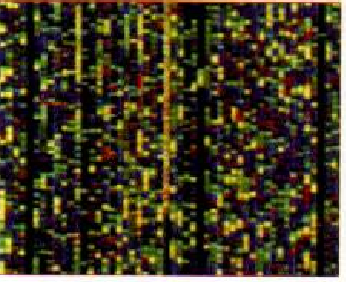
صبغيات (كروموسومات) بشرية

عام 1990

انطلاق مشروع الجينوم البشري.

عام 1988

حصلت جامعة هارڤرد على براءة في **الفار السرطاني** OncoMouse: فارض يحمل جينة غُرزت في جينومه، تؤهبه للإصابة بالسرطان.



سَلْسَلة الدنا

عام 1996

اتخذ علماء كل من القطاعين العام والخاص، من أنحاء العالم كافة، المنخرطين في سلسلة الدنا، قرارا ـ سمي قواعد بيرميودا ـ ينص على «أنه يت[...] أن تكون جميع المعلومات المتعلقة بتسلسلات الجي[...] البشري، التي يتم جمعها في المراكز الممولة لسلس[...] جينوم الإنسان على نطاق واسع، متاحة مجانا وت[...] تصرف الجميع.»

باحثا اختيروا عشوائيا من الجامعات والمختبرات الحكومية والصناعة، حول تأثير البراءات الخاصة بالحياة في أبحاث الجينوميات والپروتيوميات وتطوير الدواء. وقد تبين في هذه الدراسة أن 8 في المئة فقط من الأكاديميين، يرون أن أبحاثهم، في العامين السابقين، كانت على علاقة بالبراءات التي يمتلكها الآخرون، في حين أن 19 في المئة لم يكونوا على علم فيما إذا كانت أبحاثهم قد تداخلت مع البراءات، و73 في المئة أعربوا عن كونهم في غنى عن استعمال براءات الآخرين. وانتهى التقرير باستنتاج أنه: «في الوقت الحاضر، يبدو أن مقدار حرية الوصول إلى البراءات أو إلى زاد المعلومات في الأبحاث الطبية الحيوية، نادرا ما يفرض عبئا ذا شأن على الباحثين الأكاديميين في هذا المجال.»

يلاحظ أن عدد البراءات التي يسعى إليها الأفراد بنشاط، قد هبط أيضا هبوطا جوهريا. ووفقا لتقرير حديث نشر في مجلة **نيتشر بيوتكنولوجي** *Nature Biotechnology*، فإن عدد البراءات المتعلقة بالحموض النووية أو بالمصطلحات الوثيقة الصلة بها، قد وصل إلى أقصاه في عام 2001 مع ما يقرب من 5004 براءات، ثم هبط في السنوات الأربع التالية. وهذا النزوع قد يكون جزئيا نتيجة تشدد مكتب البراءات في معيار المنفعة [*انظر الإطار في الصفحة 64*].

ربما يعزى بعض هذا الانخفاض إلى واقع نجاح حركة تبنت مبدأ المصدر المفتوح في العلوم الطبية الحيوية، كتلك التي اعتمدت في تقنيات المعلوماتية. ففي عام 1996، ابتكر علماء، من كافة أنحاء العالم ينتمون إلى القطاعين العام والخاص، ما أصبح يعرف **بقواعد برمودا** Bermuda Rules وهذه تنص على أن جميع المعلومات الخاصة بتسلسلات **الدنا** DNA المتصلة بمشروع الجينوم البشري يجب أن توضع على الفور في متناول الجميع. وفيما بعد، تم أيضا تشجيع تشارك البيانات في مشاريع أخرى واسعة النطاق، مثل مشروع **اتحاد تعدد أشكال النكليوتيد الأحادي** Single Nucleotide Polymorphism Consortium، الذي رسم خريطة الاختلافات الجينية في الجينوم البشري. وفي بعض الحالات، استصدر الباحثون براءات في إجراء دفاعي، كي يضمنوا أن شخصا آخر لن يجمع هذه المعرفة لنفسه. وتسعى كل من الشركات ومؤسسات الصحة العامة، التي تعمل على اكتشاف وسَلْسَلة فيروس **السارز** SARS؛ أي **المتلازمة الرئوية اللانمطية الوخيمة** sever atypical respiratory syndrom، إلى تشكيل «جميعة براءات» كي يحول دون نشوء ترخيص حصري لجينوم السارز.

لقد أحبط تبني القطاع العام لهذا المنهج فكرةَ تأسيس عمل يعتمد على قاعدة معلومات عامة. إن كلا من «سيليرا للجينوميات» و«إنسايت» ـ وهما شركتان رائدتان في حقل الجينوميات ـ أعادتا بناء هيكليتيهما في السنوات المبكرة من القرن الجديد لتصبحا شركتي اكتشاف أدوية. ولكن <J. C.> ڤنتر>، الذي كان بمثابة رأس حربة جهود القطاع الخاص لسَلْسَلة الجينوم البشري، غادر الشركة «سيليرا» وتحول إلى ناقد صريح. فقد علق <ڤنتر> في مؤتمر علمي عام 2003 قائلا: «لقد أثبت التاريخ أن براءات الجينات لم تكن تساوي قيمة الورق الذي كتبت عليه، والوحيدون الذين كسبوا المال من هذه البراءات هم محامو البراءات.»

كذلك فإن تكتلا للبراءات يعرقل الأبحاث الأساسية، قد فشل أيضا في التبلور، ذلك لأن الأكاديميين يميلون إلى عدم احترام الملكية الفكرية. فالأبحاث اللاتجارية في نظرهم مستثناة. مع أن قرارا اتخذته المحكمة CAFC في عام 2002 بشأن حالة <M. V. ديوك>، جرد الجامعات والمعاهد الأخرى اللاربحية من أي امتياز أو وضع خاص. لقد قررت المحكمة أن الأبحاث اللاتجارية تعزز «الأهداف التجارية الشرعية» للجامعة. وهكذا، فإن كلا من أدوات البحث ومواده ـ وقد يتضمن ذلك الدنا ـ لا تستحق أي إعفاء (باستثناء إعفاء يتناول الأبحاث الخاصة بتحضير الطلب بهدف



فاران سرطانيان

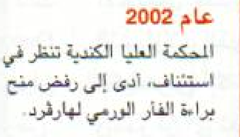
2000

...علان عن مسودة مبدئية للجينوم البشري.

...رئيس الولايات المتحدة <بيل كلينتون> ورئيس وزراء ...انيا <توني بلير> بيانا بأن «البيانات الأساسية، غير ...ية، عن الجينوم البشري، بما في ذلك تسلسل دنا الإنسان ...لافاته، يجب أن تكون متاحة مجانا للعلماء في كل مكان.» ...إثر هذا البيان عانت أسهم التقانة الحيوية هبوطا حادا.

عام 2001

أصدر مكتب البراءات في الولايات المتحدة دليلا نهائيا، رُفعت فيه معايير النفعية وكم تفاصيل الابتكار التي يتعين الإفصاح عنها، والضرورية بشكل جزئي، للحصول على البراءات. وهذا الإجراء جاء نتيجة لكثرة طلبات البراءة على شدف الجينات.



عام 2002

المحكمة العليا الكندية تنظر في استئناف، أدى إلى رفض منح براءة الفأر الورمي لهارفرد.

عام 2003

اتخذ الكونغرس تدبيرا احتياطيا في ميزانية مكتب البراءات، محرما منح براءات في «الكائنات الحية البشرية»؛ وهو إجراء تنظيمي لسياسة المكتب القائمة.

عام 2005

أصدر مكتب البراءات رفضا نهائيا لطلب تسجيل براءة تقدم به <S. نيومان> و<J. ريفكين> لخَيمر افتراضي: هجين جزء منه بشري وجزء آخر حيواني. لقد أراد هذان المعارضان لتسجيل الكائنات الحية في براءات، الحصول على براءة تمنع أيا كان من لتكوين حيوان مماثل في المستقبل.



خَيْمَر chimera

تقديم ملف خاص بعقار جديد).

وعلى العموم، ليس لدى أصحاب البراءات نية في طرق أبواب المختبرات بشدة، بغية تقصي الانتهاكات. في أعقاب قرار «مادي»، وطبقا للمسح الذي أجرته الأكاديمية الوطنية للعلوم، ارتفع قليلا معدل الملاحظات من أصحاب البراءات، إلاّ أن هذه الزيادة لم تحدث خرقا رئيسيا. ولكن تنامي الوعي بغياب الإعفاء قد يؤدي إلى خلق مناخ بحثي أكثر تقيدا، وهو ما دفع هيئة مستشاري الأكاديمية الوطنية للعلوم إلى توجيه توصية للكونغرس، لتشريع إعفاء قانوني خاص بالبحث العلمي.

قد تبدأ العقبات الرئيسية في وجه الملكية الفكرية بالظهور عند بلوغ الجينوميات والبروتيوميات ـ وهما حقلان تتم فيهما دراسة شاملة لعدد كبير من الجينات والبروتينات ـ مرحلة النضج. وقد لاحظت الهيئة الاستشارية للأكاديمية الوطنية للعلوم: «أن العبء على كاهل الباحث، الذي ينوي الحصول على حقوق ملكية فكرية تغطي تلك الجينات أو البروتينات، قد يصبح غير مقبول، تبعا لدرجة اتساع المجال الذي تشمله البراءة، والكيفية التي يستجيب بها أصحاب البراءة، تجاه الانتهاكات.»

إن جني ثمار الجينوميات والبروتيوميات في إطار تشخيص طبي ودوائي لايزال في بداياته فقط. وتقول <A .B. كولفيلد> [المستشارة القانونية العامة في أفيميتريكس Affymetrix (شركة الرقائق الجينية، التي عارضت تسجيل الدنا في براءات، لأن ما سينتج من هذه البراءات سيعيق البحث)]: «إن الاصطدام بالمواضيع المتعلقة بالملكية، سيبرز فعلا بمجرد اقتراب تلك الفعاليات من السوق.»

وتقول <كولفيلد> إن هنالك أمثلة واقعية عن براءات واسعة الطيف جدا، أضحت فعليا عبئا على كل من الصناعة والأكاديميا. إن جينيتيك تكنولوجيز ليميتد Genetic Technologies Ltd شركة أسترالية تملك براءات توظفها للحصول على ترتيبات ترخيص خاصة من كل من الشركات والجامعات التي تجري أبحاثا في الجزء غير المكود من الجينوم. إن اتساع نطاق هذه البراءات، والتي تغطي الطرق المعتمدة من أجل الحصول على معلومات عن 95 في المئة تقريبا من الجينوم، وهو الذي يطلق عليه أحيانا، على نحو خاطئ، **الدنا الرُّمَم (السُّقط)** junk DNA، قد يجعل معظم العلماء لا يصدقون ما يرونه. ومهما يكن، فإن «جننتيك تكنولوجيز» قد بدأت فعلا بإجراء ترتيبات ترخيصية مع عملاقتي التقانة الحيوية في الولايات المتحدة: شركتي جينزايم Genzyme وأبليرا Applera، أمهات شركتي «سيليرا» وإبلايد بيوسيستم Applied Biosystems.

الحفاظ على النظام العام(*)

إن صانعي السياسة والمحاكم الأمريكية لم يلجؤوا عموما، فيما يتعلق بمالكي البراءات، إلى أسلوب المنع أو الكبح فيما يتعلق باستثمار التِّقانات الحيوية الجديدة تجاريا. ومع أن الهيئات الاستشارية الحكومية غالبا ما تناولت المسائل الأخلاقية والفلسفية والاجتماعية، فإن هذه الاعتبارات نادرا ما أدخلت إلى باحة القرار الفعلي الذي يحدد فيما إذا كان ينبغي توسيع الحماية من خلال براءات تشمل الكائنات الحية. في قضية <شاكرابارتي>، سوّغت المحكمة العليا قرارها جزئيا من خلال اقتباس بيان أدلى به أول مفوض للبراءات، <T. جيفرسون> [الرئيس الثالث للولايات المتحدة] يقضي بأنه «يجب أن يلقى الإبداع تشجيعا حرا.»

تمثّل أحد التساؤلات الواضحة، التي أثارها القرار الخاص بقضية <شاكرابارتي>، بما يلي: أين يقف تسجيل براءة الحياة؟ هل سيمتد ليشمل مخلوقات أعلى مرتبة من سوية **الزائفة** Pseudmonas المتدنية في شجرة تشكل الأنواع؟ ففي عام 1988، وبعد ثماني

(*) Keeping the *Order Public*

سنوات من قضية ‹شاكرابارتي›، أصدر مكتب البراءات البراءة ذات الرقم 866 736 4: براءة خاصة بأنكوماوس هارڤرد Oncomouse (فأر هارڤرد الورمي)، الذي يحتوي على جينة تؤهب الحيوان للإصابة بالسرطان، ويمثل أداة قيمة في البحث حول هذا المرض. ونستطيع تتبع المسوِّغ لمنح البراءة، مباشرة، عبر حجج القضاة التي وردت في قضية ‹شاكرابارتي› والتي تنص على أن: إضافة الجينة المسرطنة يعني أن هذا فأر «مبتكر» من قبل الإنسان.

لم تعالج جميع بلدان العالم، موضوع تسجيل الكائنات الحية العليا، من خلال التحيز نحو مبدأ المنفعة؛ الذي برز لدى محاكم الولايات المتحدة وبيروقراطييها. فلقد توصلت كندا منذ وقت جد قريب إلى قرار مختلف كليا، تناول الحيوان الثديي الصغير الذي يحمل جينة إضافية. فعبر الاستئناف، رفضت المحكمة العليا الكندية براءة فأر هارڤرد الورمي. وقررت المحكمة في عام 2002 أن الوصف «تركيب المادة» ـ الذي هو في جوهره منتج مُخْتَرع، أهل للتسجيل في براءة ـ يجب أن لا يطبق على الفأر. ولقد أكد القاضي ‹M. باستاراخ›: «إن حقيقة كون أشكال الحياة الحيوانية تمتلك أنواعا عديدة من السمات الفريدة، التي تسمو فوق المادة الخاصة المكونة لها ، تجعل من الصعب وضع هذه الأشكال العليا من الحياة في مفهوم يقتصر على تحديدها كمجرد «تراكيب للمادة؛ إنها جملة غير ملائمة، كما يبدو، لوصف أشكال الحياة العليا.»

وكذلك كانت أوروبا أكثر حذرا من الولايات المتحدة فيما يتعلق بتبني الفأر الورمي. فلقد ضيق مكتب البراءات الأوروبي المجال الذي شملته براءة الفأر الورمي، حتى اقتصر على الفئران من دون القوارض الأخرى. وتمكن هذا المكتب من فعل ذلك عبر استشهاده بفقرة شرطية وردت في قانون البراءات، ولا يوجد ما يقابلها في القوانين الأمريكية. وهي الفقرة 53 من الاتفاقية الأوروبية للبراءات التي تحظر إصدار براءات تهدد «النظام العام أو الأخلاق».

كما عمد المشرعون الأوروبيون إلى تحجيم قوة مستند براءة جينات الثدي السرطانية، التي تمتلكها شركة ميرياد جينيتكس Myriad Genetics والتي قاعدتها في ولاية يوتا. لقد ثبّطت براءات الجينات التشخيصية، أكثر من غيرها من الدنا، في الولايات المتحدة كلا من البحث والطب السريري. فقد استعملت «ميرياد» براءاتها في منع المراكز الرئيسية للسرطان من استنباط اختبارات رخيصة ـ من **خلطة بيتية** home brew ـ تتيح الكشف عن جينتي سرطان الثدي BRCA1 و BRCA2. أما في أوروبا فقد تحدى ائتلاف يمثل عددا من المعاهد البحثية براءات «ميرياد»، مبطلا بعضها ومقيدا غيرها. وبسبب هذا التقليم الراجع لحقوق الشركة «ميرياد»، أصبحت هذه الاختبارات حاليا حرة، وفي متناول الجميع، عدا نساء اليهود الأشكيناز (اليهود الغربيين)، اللواتي لا يزال يتوجب عليهن دفع أجور الترخيص. هذه الطفرات، التي لا تزال مشمولة في البراءات المتبقية للشركة «ميرياد»، أكثر شيوعا لدى النسوة من الأشكيناز. هكذا، وبحكم القانون، يتعين على الطبيب أن يسأل المرأة، فيما إذا كانت يهودية أشكينازية؛ وهو الأمر الذي أثار سخرية إخصائيي الوراثة.

إن تكرار هذه المشاهد الأخيرة في الولايات المتحدة أمر بعيد الاحتمال. فقد نوهت المحكمة العليا في حالة ‹شاكرابارتي› بأن نمط التساؤلات الذي أثارته مجموعة «ريفكين»، يجب أن يوظف من أجل الكونغرس، إلا أن معظم المساعي التشريعية قد أخفقت حتى الآن. ويبدو أن أي تغير جوهري قد يطرأ، سيتم على الأرجح عبر إعادة مراجعة مضامين القرار المفتاحية، المرتبطة بقضية ‹شاكرابارتي› في المحكمة العليا. هذه المضامين تتمثل في تعريف الخط الفاصل الذي ينزاح باستمرار، والذي يفصل بين قوانين الطبيعة وعالم الابتكار.

وينتظر المحللون القضائيون بتلهف قرارا للمحكمة العليا، يُتوقع أن يُتخذ هذا العام، قرارا يساعد على توضيح مدى إمكانية تراجع الحدود التي تحيط بما يعتقد أنه عصي على البراءة. فقد وافقت المحكمة العليا، على النظر في الدعوى التي أقامتها الشركة «لابوراتوري كوربوريشن أوف أمريكا هولدينگز» ضد الشركة «ميتابولايت لابوراتوريز إنكوربوريشن» التي ستحدد فيما إذا كان الترابط الصرف بين معدل عالٍ من الحمض الأميني «هوموسستئين» مع عوز نوعين من الڤيتامين B يمكن أن يُخضَع لبراءة إذا كان لجهة معينة أن تطالب بحق احتكار علاقة علمية أساسية مستخدمة في معالجة طبية، بحيث إن أي طبيب سيضطر لانتهاك البراءة، بمجرد استخدام العلاقة بعد اطلاعه على نتائج اختبار ما،» وذلك على حد قول الشركة المدّعية. وطلب البراءة يغطي العلاقة فقط، وذلك بمعزل عن التجهيزات الكهربائية والميكانيكية التي تستعمل لإجراء الاختبار. ولهذه القضية أهمية كبيرة، ليس فقط في الصناعة التِّقانية الحيوية، التي تنامت لديها قيمة المعلومات الفجة، بل أيضا في صناعة تقانة المعلومات نفسها؛ حيث إمكانية تسجيل البرمجيات وطرائق العمل في براءة هي أيضا موضع نزاع. وكما يقول ‹K .A. راي› [وهو أستاذ القانون في جامعة ديوك]: «سيكون لذلك تأثير واضح، ليس فقط في تسجيل الدنا في براءات، وإنما أيضا في مجالات ناشئة جديدة مثل التقانة النانوية والبيولوجيا التركيبية.»

إن حيثيات القضية ستبرهن على ضرورة أن تسود تعاليم ‹جيفرسون› التي تشجع على الإبداع. ولكن صدى القضية يتناغم وقضية ‹شاكرابارتي› والقضية القانونية التي سبقتها. ومع تقدم التقانة يتعين على المحاكم أن تتعاطى مرارا وتكرارا مع السؤال: «هل أن كل شيء على الأرض من صُنع الإنسان يمكن تسجيله في براءة اختراع؟»، فهل ستكون «السمكرة» بجينة واحدة في فأر، أو حتى مجرد الكشف عن علاقة معكوسة بين جزيئين، كافية على الدوام لمنح «مخترع» احتكارا محدودا لعقدين من الزمن؟ ■

مراجع للاستزادة

Who Owns Life? Edited by David Magnus, Arthur Caplan and Glenn McGee. Prometheus Books, 2002.

Intellectual Property Landscape of the Human Genome. Kyle Jensen and Fiona Murray in *Science*, Vol. 310, pages 239–240; October 14, 2005.

Reaping the Benefits of Genomic and Proteomic Research: Intellectual Property Rights, Innovation, and Public Health. Committee on Intellectual Property Rights in Genomic and Protein Research and Innovation. National Research Council, National Academies Press, 2005.

Scientific American, February 2006

تتمة الصفحة 59 (برمجيات تُصمَّم بحيث يُعوَّل عليها)



كشفت الأداة ألُّويْ عن مواطن خلل مهمة في تصاميم برمجيات منشورة.

تفحّصت الأداة ألُّويْ برنامجا حاسوبيا صمم ليعثر على طابعة في شبكة لاسلكية.

صميم الكثير من المنظومات غير الموثوق بها، أو المعقدة تعقيدا يفوق الضرورة.

والمنظومات التي تعتمد على برمجيات بُنيت على تجريدات بسيطة ومنيعة سوف تكون سهلة الاستخدام أيضا. انظر مثلا كيف يسَّر **إصدار التذاكر إلكترونيا** e-ticketing السفر الجوي، وكيف أن التكويد العالمي للمنتجات جعل التسوّق أسهل، وكيف أن المؤتمرات الهاتفية التي تستخدم الرقم 800، جعلت عقد المؤتمرات منْ بُعد ممكنا. إن كلاً من هذه الابتكارات مستمد من تغيير في التجريدات الأساسية المتضمَّنة في برمجياتها.

السبيل إلى الاعتماديّة(*)

ثمة أدوات مشابهة للأداة ألُّويْ تُستخدم حاليا، في المقام الأول، في البحث وفي التطبيقات الصناعية المتقدمة. فقد استُخدمت هذه التقانة لاستقصاء بنى جديدة لمنظومات المقاسم الهاتفية، ولتصميم مُعالجات طَيران آمنة ضدّ العابثين، ولتوصيف سياسات التحكم في النفاذ إلى شبكات الاتصال. وقد استخدمناها لفحص أدوات برمجية منيعة واسعة الاستخدام، من قبيل بروتوكولات لإيجاد طابعات ضمن الشبكة، وأدوات لمزامنة الملفات بين التجهيزات المحوسبة.

وإضافة إلى ما سبق، فإن الأداة ألُّويْ كشفت عن خلل خطير في تصاميم برمجيات منشورة ـ مثل بروتوكول حيويّ للإدارة قصد به تطبيق قواعد خاصة للنفاذ اعتمادا على عضوية في مجموعة معينة، تبيّن بعدئذ أنه يسمح بالنفاذ لأعضاء سابقين كان من الواجب ألا يسمح لهم بالنفاذ. ومن الجدير بالذكر أن كثيرا من المبرمجين الذين استخدموا الأداة ألُّويْ قد ذُهلوا من عدد العيوب التي يكشفها في تصاميم حتى أبسط تطبيقاتهم.

وهي على الأرجح، مسألة وقت فحسب قبل أن يتم تبني أدوات مثل الأداة ألُّويْ على نطاق أوسع في صناعة البرمجيات. وإن التحسينات في الحلاّلات SAT الأساسية سوف تجعل أدوات التحليل أسرع وأكثر قدرة على معالجة النظم الكبيرة جدا. وفي غضون ذلك، سوف يقوم جيل جديد من مصممي البرمجيات، الملمّين بهذه الطرائق، بإدخالها في عملهم. إن رواج النمذجة في تزايد، وبخاصة بين المديرين المتعطشين لرؤية بعض الوصف لتصميم منظومة برمجية بما يتجاوز الكود ذاته.

وفي مرحلة ما، قد يأتي وقت تصبح فيه البرمجيات جوهرية لتحسين عمل البنية التحتية من يوم لآخر إلى حد لا يمكن معه قبول البرمجيات الرديئة. حتى إن الحكومات قد تضع، نتيجة لذلك، تشريعات فحص وترخيص تفرض استخدام تقنيات عالية الجودة في بناء البرمجيات. وقد يأتي يوم تصبح فيه المنظومات البرمجية منيعة حقا ويتيسر التنبؤ بها كما يسهل استخدامها ـ انطلاقا من التصميم. ■

(*) The Road to Reliability

المؤلف

Daniel Jackson

يرأس مجموعة تصميم البرمجيات في مختبر علم الحاسوب والذكاء الصنعي artificial intelligence في معهد ماساتشوستس للتقانة (MIT). أما اهتمامه الرئيسي فهو هندسة البرمجيات، وبوجه خاص، تصميم وتوصيف وتحليل البرمجيات الخاصة بالنظم الحرجة، أي التي يُعتبر حسن أدائها ذا أهمية بالغة. حصل ‹جاكسون› على الماجستير في الفيزياء من جامعة أكسفورد، وعلى الماجستير والدكتوراه في علم الحاسوب من معهد ماساتشوستس. وكان قد درّس في جامعة كارنيگي ميلون قبل التحاقه بوظيفته في هذا المعهد.

مراجع للاستزادة

Exploring the Design of an Intentional Naming Scheme with an Automatic Constraint Analyzer. Sarfraz Khurshid and Daniel Jackson in *Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Automated Software Engineering, Grenoble, France.* IEEE, September 2000. (Describes application of Alloy to the design of a system for finding resources on a network.)

Automating First-Order Relational Logic. Daniel Jackson in *Proceedings of the 8th ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering: Twenty-First Century Applications.* ACM Press, 2000. (Explains Alloy's analysis.)

A Micromodularity Mechanism. Daniel Jackson, Ilya Shlyakhter and Manu Sridharan in *Proceedings of the Joint 8th European Software Engineering Conference (ESEC) and 9th ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering.* ACM Press, 2001. (Explains key concept in the latest version of Alloy language.)

Alloy: A Lightweight Object Modeling Notation. Daniel Jackson in *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, Vol. 11, Issue 2, pages 256–290; April 2002. (Original description of Alloy.)

Software Abstractions: Logic, Language, and Analysis. Daniel Jackson. MIT Press, 2006.

Daniel Jackson's Web site: **http://people.csail.mit.edu/dnj/**

Alloy Web site: **http://alloy.mit.edu**

Scientific American, June 2006

لماذا تبدو بعض الحيوانات ذكية جدّاً؟[*]

يوحي السلوك الاستثنائي للسِّعلاوات (قرود الأورانج أوتان) بإجابة مدهشة عن هذا السؤال.

<C. ڤان شيك>

أمُّ وصغيرها من السّعلاوات في سومطرة.

مع أننا نحن البشر نؤلف الكتب المدرسية وقد يُشتبه بحق بتحيزنا، فقلة منا تشك في أننا أذكى المخلوقات على هذا الكوكب. صحيح إن العديد من الحيوانات تمتلك مؤهلات معرفية خاصة تسمح لها بالتفوق في بيئاتها الخاصة، لكن هذه الحيوانات في الغالب لا تستطيع حل المشكلات المستحدثة. ولئن كان بعضها يفعل ذلك، ونحن ندعوها حيوانات ذكية، فما من أحد منها سريع البديهة كما هي حالنا.

ما الذي رجَّح تطور مثل هذه القدرة العقلية المتميزة لدى البشر، أو على وجه الدقّة لدى أسلافنا **أشباه البشر** hominid؟ إن إحدى مقاربات الإجابة عن هذا السؤال تتمثل في دراسة العوامل التي ربما شكلت المخلوقات الأخرى التي تبدي ذكاء عاليا، كما تتمثل في معرفة ما إذا كانت نفس هذه القوى قد مارست فعلها في أسلافنا. فعلى سبيل المثال، تحلُّ بضعة من الطيور والثدييات (غير البشر) مشكلاتها بصورة أفضل بكثير من غيرها: ونذكر في هذا الصدد الأفيال والدلافين (الدرافيل) والببغاوات والغربان. لكن البحث في أقرب أقربائنا، وهم القرود الضخمة، يحتمل بالتأكيد أن يكون أكثر إيضاحا.

لقد اقترح العلماء العديد من التفسيرات بخصوص الذكاء في **الرئيسات** primates، وهي السلالة التي ينتمي إليها البشر والقرود العليا (إضافة إلى النسانيس والليمورات و**البليديّات** Lorises). وقد توصّلت دراسة

(*) WHY ARE SOME ANIMALS SO SMART?

أعدّتها مجموعتي البحثية على قرود السِّعلاة منذ ما يزيد على ثلاثة عشر عاما وبصورة غير متوقعة إلى تفسير نظنه يقطع شوطا بعيدا في الإجابة عن السؤال.

نظريات غير مكتملة(*)

تمنح إحدى المحاولات ذات التأثير النافذ في شرح ذكاء الرئيسات ثقتها بدور في الحياة الاجتماعية يتعلق بتطور المؤهلات المعرفية القوية. وتوحي نظرية الذكاء الميكياڤيلية هذه بأن النجاح في الحياة الاجتماعية يعتمد على إنماء أكثر العلاقات نفعا، وعلى القراءة السريعة للوضع الاجتماعي. ونذكر مثالا على ذلك، خيارنا إذا ما كنا سنهبّ لنجدة حيوان أليف يهاجمه حيوان آخر. وفي هذا الصدد فإن متطلبات الجماعة تعزّز الذكاء لأن أكثر الكائنات ذكاء هي التي تكون أكثرها نجاحا في اعتماد الخيارات التي تقي الذات، ومن ثمّ تبقى على قيد الحياة لتمرر جيناتها إلى الجيل التالي. ولكن قد لا تكون الصفات الميكياڤيلية متساوية النفع لدى الأنسال الأخرى أو لدى الرئيسات، ومن ثم فإن هذه الفكرة وحدها لن تكون مقنعة.

يستطيع الفرد أن يتخيل بسهولة العديد من القوى الأخرى التي تعزّز تطوّر الذكاء، مثل حاجة الشخص إلى أن يكد في العمل من أجل طعامه، وفي هذا الموقف فإن المقدرة على أن يتصور الفرد كيف يستخرج بمهارة الطعام الخفي أو أن يتذكّر المواضع المتبدِّلة باستمرار للحاجات الغذائية الملحّة يُعدُّ أمرا مفيدا. وبذلك فإن مثل هذا الذكاء سيتحقق عبر تمرير مزيد من الجينات إلى الأجيال التالية.

أما تفسيري الخاص، الذي لا يتناقض مع هذه القوى الأخرى، فإنه يشدِّد على التعلم الاجتماعي. فلدى البشر، يتطوّر الذكاء مع مرور الزمن. فيتعلم الطفل أولا تحت إشراف البالغين الصبورين، وإذا لم يتلق موارد اجتماعية قوية (ذات طبيعة ثقافية) فإنه حتى لو كان ذا استعداد عبقري سينتهي إلى شخص فجٍّ أخرق حينما يبلغ سن البلوغ. ولدينا الآن أدلة على أن عملية التعلُّم الاجتماعي هذه تنطبق أيضا على القرود المتقدِّمة، وسوف أفنِّد بشكل عام أن الحيوانات الذكية هي ذاتها ذات الثقافة: فهي تتعلم أحدها من الآخر حلولا مبتكرة للمشكلات البيئية والاجتماعية. وباختصار فإني أقترح أن الثقافة تعزِّز الذكاء.

لقد توصلت إلى هذا الافتراض بطريقة غير مباشرة، وذلك عن طريق المستنقعات على الشاطئ الغربي لجزيرة سومطرة الإندونيسية حيث كنت مع زملائي ندرس السِّعلاوات (قرود الأورانج أوتان). فالسِّعلاة هي القرد الآسيوي الضخم الوحيد المحتجز في جزيرتي بورنيو وسومطرة والمعروف بشيء من العزلة. وبمقارنة السعلاة بقريبها الأكثر شهرة «الشمپانزي الأفريقي» يتصف هذا القرد الأحمر (أي السِّعلاة) بالهدوء بدلا من الفعالية المفرطة وبالتحفظ الاجتماعي بدلا من الانفتاح المرح. وما اكتشفنا في السِّعلاوات حتى الآن إنما هو شروط تسمح بازدهار الثقافة.



يقدّم مستنقع كلويت، موئلاً مزدهرا للسِّعلاوات (قرود الأورانج أوتان). وقد اكتشف المؤلف وزملاؤه أنه في مثل هذه التوليفة الخصبة تعيش القرود المعروفة عموما بحياتها الإفرادية حياة اجتماعية تدعو إلى الدهشة.

تقانة في المستنقع(***)

لقد اجتذبنا المستنقع مبدئيا لأنه يؤوي أعدادا كبيرة من السِّعلاوات بشكل غير متكافىء، خلافا لما عليه الحال في غابات الأراضي الجافة الخاصة بالجُزُر والتي تمثل موئلا مستنقعيًا يوافر طعاما للقرود على مدار العام، وبذلك يُعيل جماعات واسعة منها. لقد عملنا في منطقة قريبة من منطقة سواق باليمبنگ Suaq Balimbing في مستنقع كلويت Kluet (*انظر الخريطة في الأعلى*)، والتي ربما كانت فردوسا للسِّعلاة ولكنها بوحلها اللزج وبوفرة الحشرات اللادغة وإرهاق حرارتها ورطوبتها كانت جحيما للباحثين.

لقد أدهشنا واحد من أول اكتشافاتنا في هذا المشهد البعيد الاحتمال: ذلك أن سِعلاوات منطقة سواق هذه ابتكرت واستعملت تشكيلة منوعة من الأدوات. ومع أن القرود الحمراء الأسيرة شغوفة باستعمال الأدوات فإن أهم ملمح لوحظ في استخدام الأداة لدى السِّعلاوات البرية كان انعدام ذلك الاستخدام. لقد عَرَفت سعلاوات منطقة سواق عن أدواتها لغرضين رئيسيين، الأول كونها تصطاد النمل و**الأَرَضة** termites (وبخاصة عسل النحل غير اللاسع) أكثر من

نظرة إجمالية/ الوشيجة السِّعلاواتية(**)

- **لقد اكتشف المؤلف استخداما موسّعا للأداة في مستنقعات سومطرة مع الإشارة إلى أنه ما من أحد شاهد السِّعلاوات تستخدم أدوات في البريّة من قبل.**
- **هذا الاكتشاف غير المتوقع يوحي للمؤلف حلاً للغز استمر مدة طويلة حول سبب كون بعض الحيوانات بهذه النباهة.**
- **إنه يقترح أن الثقافة هي المفتاح: ذلك أن المختصين بعلم الرئيسات يعرِّفون الثقافة بأنها القدرة على التعلّم عبر مشاهدة مهارات ابتكرها آخرون. وتستطيع الثقافة أن تطلق العنان لإنجازات تتزايد باستمرار وتدفع النوع الحيواني إلى مزيد متعاظم من الذكاء.**

(*) Incomplete Theories
(**) Overview/ The Orangutan Connection
(***) Technology in the Swamp



تقضي السَّعلاوات معظم حياتها بدون صنع أدوات أو استخدامها. أما السَّعلاوات الحمر في منطقة سواق فإنها تعتبر استثناء، إذ إنها تبتكر تشكيلة متنوعة من الأدوات. وإحدى أكثر هذه الأدوات شيوعا هي العصا (*في الأعلى يمينا*) تجهِّزها لجمع النمل والأرضة وبخاصة العسل. فبدون الأداة (*أقصى اليسار*) غالباً ما تخفق في استعادة العسل من ثقب في شجرة عن طريق العض مثلاً. أما سعلاوات منطقة سواق فإنها على النقيض من ذلك، إذ تُدْخل الأداة في الثقب ممسكة بها في الفم (*السهم في اليمين*) وتحركها برفق للخلف والأمام ثم تسحبها للخارج كي تلحس العسل (*أقصى اليمين*).

نظيراتها السَّعلاوات الأخرى في أي مكان آخر، فهي غالبا ما تلقي نظرات ثاقبة على جذوع الشجر باحثة عن حركة مرور الهواء عبر ثقوب دقيقة عليها، وبمجرد أن تكتشف الثقوب تركِّز بصرها عليها، وبعد ذلك تستكشفها يدويا بإصبع واكزة ولاقطة.. ولا تكون الإصبع في أبعادها ذات طول مناسب فتجهِّز السَّعلاة أداة عصوية الشكل، وبعد إدخال العصا بعناية يحركها هذا القرد برفق نحو الأمام والخلف ثم يسحبها أخيرا ويلحسها ثم يعيد غرزها مرة أخرى. وتتم معظم هذه المداولة والقرد مطبق بأسنانه على الأداة. ويضاف إلى ذلك أن القرد لا يستخدم إلا أكبر الأدوات في هدم كتل أعشاش الأرضة.

أما السياق الثاني الذي تستخدم فيه قرود منطقة سواق الأدوات فإنه يضم ثمار شجرة *النيسيا Neesia*، وتعطي هذه الشجرة قرونا خشبية خماسية الزوايا تصل إلى عشر بوصات طولا وأربع بوصات عرضا، وتمتلئ هذه القرون ببذور بنية اللون بحجم فول ليما (نوع من الفول المتسلق)، وهي بسبب احتوائها على 50% دهونا تُعدُّ ذات قيمة غذائية عالية وهي نادرة وتشكِّل حاجة مطلوبة في بيئة طبيعية ليس فيها مأكولات جاهزة. وتحمي هذه الشجرة بذورها بغلاف شديد الصلابة، ولكن حينما تنضج البذور يبدأ الغلاف بالتشقق منفتحا، وتتسع الشقوق بالتدريج كاشفة عن صفوف ملساء مرتبة من بذور نمت لها **قَصَرات** arils حمراء دقيقة تحتوي على 80% دهونا، ولصدِّ ملتهمات البذور بعيدا تملأ كتلة من الإبر الحادة كالموسى تلك القشرة. وهنا تنزع السَّعلاوات اللحاء في قطاع منطقة سواق عن الفروع المستقيمة التي تمسكها في أفواهها وتدخلها في شقوق غلاف البذور، وبتحريك هذه الأداة إلى الأعلى والأسفل داخل الشق يفصل الحيوان البذور عن سيقانها، وبعد هذه المناورة يستطيع أن يسقط البذور مباشرة إلى فمه. وفي أواخر الموسم لا تتغذى السَّعلاوات إلاّ بأغلفة البذور الحمراء مستخدمة التقنية نفسها في الوصول إليها بدون إيذاء.

إننا نجد كلتا الطريقتين في تكييف العصا للاغتذاء مُعَمَّمتين في منطقة سواق. أما قيام السَّعلاة باصطياد النمل في ثقوب الشجرة فلا يحدث إلا بين الفينة والفينة ويستمر لدقائق قليلة، ولكن عندما يتم نضج ثمار شجرة *النيسيا* فإن هذه القرود تكرس معظم ساعات سيرها في البحث عن البذور أو الأغلفة الخارجية ونراها تنمو أكثر بدانة وصقلا يوما بعد يوم.

لماذا يمثِّل استخدام الأداة ثقافة[*]

ماذا يوضِّح هذا التركيز المذهل على استخدام الأداة في منطقة سواق في الوقت الذي لا تبدي فيه السَّعلاوات البرِّيَّة في أي مكان آخر مثل هذا الميل إلاّ قليلا؟ نحن نشتبه في أن هذه الحيوانات في منطقة سواق هي أكثر ذكاء بشكل فطري. فملاحظة كون معظم الأفراد في الأُسَر من هذا النوع الحيواني يمكنها أن تتعلّم استخدام الأدوات إنما توحي بوجود مقدرة مخية أساسية للقيام بهذا العمل.

ولذلك فكرنا أن بيئة هذه الحيوانات ربما تمتلك الجواب. فمعظم السَّعلاوات التي درست من قبل هي حيوانات تعيش في غابة جافة في حين يوافر المستنقع موئلا نَضِرا فريدا؛ إذ يصنع كثير من الحشرات أعشاشه هناك في ثقوب الشجر أكثر مما هي الحال في الغابات على أرض جافة. ولا ينمو شجر *النيسيا* إلاّ في الأمكنة الرطبة بالقرب من المياه الجارية عادة. ولكن مع هذا الاستهواء الذي تدل عليه تلك الصفات البيئية فإننا لا نعرف لماذا تتجاهل السَّعلاوات في مجموعات عديدة خارج منطقة سواق نفس مصادر الغذاء الغنية هذه جملة وتفصيلا،

(*) Why the Tool Use Is Cultural



كما لا نعرف لماذا تقوم بعض المجموعات من أكلة البـذور بجني تلك البـذور بدون أن تستخدم أدوات (مما ينتج منه بالطبع أنها تأكل أقل بكثير مما تأكله السعلاة في منطقة سواق). وينطبق الشيء نفسه على أدوات ثقوب الشجر، وأحيانا عندما تبدي التلال المجاورة ـ والتي يوجد بها غابات أرض جافة ـ غلة كثيفة من الثمار تذهب سعلاوات منطقة سواق إلى هناك للاستمتاع. وبينما هي تجمع الثمار تستخدم الأدوات لاستخراج محتويات ثقوب الشجر. ونشير إلى أن موئل التلة ميسور في جميع أرجاء المدى الجغرافي للسِّعلاة. وإذا كانت الأدوات تستخدم على سفوح التل فوق منطقة سواق، فلماذا لا تستخدم في كل مكان؟

ثمَّة اقتراح آخر درسناه وهو ينسجم مع المثل القديم بأن الحاجة أم الاختراع. ومفاده أن حيوانات منطقة سواق التي تعيش في مثل هذه الكثافة العددية تواجه منافسة كبيرة في تأمين الغذاء، الأمر الذي يبقي العديد من القرود بدون طعام ما لم تستطع الوصول إلى مصادر إمدادات شاقة تحتاج إلى أدوات للأكل. وتتمثل أقوى حجَّة ضد هذه الإمكانية في كون الأطعمة الحلوة أو الدسمة التي تيسِّرها هذه الأدوات تحتلّ موقعا عاليا جدًا في قائمة أفضليات السِّعلاة، ولذلك لا بد للسِّعلاوات من أن تبحث عنها في أي مكان. فمثلا ترغب هذه القرود الحمراء في جميع الأمكنة لو يلسعها نحل العسل عدة مرات كي تصل إلى عسله، ومن ثم فإن فكرة الحاجة التي وردت في هذا المثل لا تصدُق هنا.

وهناك إمكانية مختلفة تتمثَّل في أن هذه السلوكيات هي تقنيات مُستَحْدَثة ابتكرتها مجموعة من السعلاوات المهرة، ومن ثم انتشرت واستمرت في جمهور القرود لأن الأفراد الأخرى تعلّمت هذه التقنية عبر مشاهدة تلك الأفراد الخبيرة. وفي كلمات أخرى، يُعَدُّ استخدام الأدوات أمرا ثقافيا. ونشير إلى عقبة رئيسية في دراسة **الثقافة** culture في الطبيعة تكمن في أننا، باستثناء المقدمات التجريبية، لا نستطيع مطلقا أن نقيم الدليل بشكل مقنع على أن الحيوان الذي ندرسه قد ابتكر حيلة ما جديدة، وليس مجرد تطبيقه لعادة يتذكرها جيدا ولكنها نادرة الحدوث. كما لا يمكننا أن نبرهن على أن فردا واحدا قد تعلم مهارة جديدة من فرد في مجموعة أخرى ولم يستنبطها بنفسه. ومع أننا نستطيع أن نبيِّن أن السِّعلاوات في المختبر قادرة على الملاحظة والتعلم اجتماعيا، فإن هذه الدراسات لا تفيدنا شيئا حول الثقافة في الطبيعة، لا بخصوص توصيفها بشكل عام ولا بخصوص مقدار ما هو قائم من هذه الثقافة. ولذلك يجب على العاملين في الميدان أن يطوِّروا منظومة معايير لإيضاح ما إذا كان في سلوك معين ما قدر من أساس ثقافي.

ففي المقام الأول يجب أن يتنوَّع السلوك جغرافيا بحيث يوضِّح أنه تم ابتكاره في مكان ما، كما يجب أن يكون شائعا في المكان الذي تمَّ العثور عليه بحيث يبيِّن أنه سَرَى واستمر في الجماعة. وقد نجحت استخدامات الأداة في منطقة سواق بسهولة في هذين الرائزين[1] الأوليين. أما الخطوة التالية فتتمثل في استبعاد التفسيرات البسيطة التي تخص تماثل الطراز المكاني بدون إشراك التعلم الاجتماعي. وقد أسقطنا التفسير البيئي الذي **تتقارب** converge فيه أفراد معرَّضة لموئل معين باكتساب المهارة نفسها كل على حدة. ونستطيع كذلك استبعاد **الوراثيات** genetics لكون معظم السِّعلاوات المأسورة تستطيع تعلم استخدام الأدوات.

أما الرائز الثالث وهو الرائز الأقوى، فإنه يتمثل في أننا يجب أن نكون قادرين على العثور على توزيعات جغرافية للسلوك يمكن تفسيرها عبر الثقافة ولا يستطاع تفسيرها بسهولة عبر أي طريقة أخرى. وقد يتمثل أحد الأمثلة الرئيسية في وجود سلوك ما في مكان بعينه مع غياب ذلك السلوك خارج حاجز طبيعي يمنع انتشاره. وفي حالة السِّعلاوات المستخدمة للأدوات في منطقة سواق فإن التوزيع الجغرافي لشجر *النيسيا* قدم لنا **دالأت** cleus حاسمة؛ إذ توجد أشجار *النيسيا* (ومعها السِّعلاوات) على جانبي نهر الآس العريض Alas River، أما في مستنقع سنجكل Singkil الواقع جنوب منطقة سواق مباشرة وعلى الجانب نفسه من نهر الآس (*انظر الخريطة في الصفحة 75*) فقد وجدنا أدوات تتبعثر على الأرض في حين غابت هذه الأدوات بوضوح في مستنقع باتو-باتو على الطرف الآخر من النهر، وذلك رغم زياراتنا المتعددة في سنين مختلفة. لقد وجدنا في باتو-باتو العديد من الثمار اليانعة مبعثرة هنا وهناك؛ مما يوضح أن قرود السِّعلاة قد أكلت بذور أشجار *النيسيا* بالطريقة نفسها التي يأكل بها زملاؤها في مكان يطلق عليه اسم كانونك پالونك في بورنيو البعيدة، ولكنها طريقة مختلفة تماما عن طريقة أبناء عمومتها على الطرف الآخر من النهر في سنجكل.

تمثل باتو-باتو منطقة مستنقع صغير لا يحتوي على عدد كبير من غابات المستنقعات ذات النخبة، ومن ثم لا يوجد فيها سوى عدد محدود من السِّعلاوات. ونحن لا نعرف ما إذا كان استخدام الأدوات قد تم ابتكاره هناك أو ما إذا كان الاحتفاظ بهذا الاستخدام ممكنا لدى هذه الجماعة الصغيرة العدد، ولكننا متأكدون من أنه ما من سعلاوات هاجرت عبر النهر جالبة معها ذلك الاستخدام إلى هناك مطلقا، وذلك لأن نهر الآس عريض في هذه المنطقة لدرجة يستحيل معها عبور سعلاة ما. أما حيث يستطاع العبور عند أعالي النهر فإن أشجار *النيسيا* تنمو بشكل متفرِّق. بيد أن السعلاوات في تلك المنطقة تتجاهل تلك الأشجار تماما لكونها على ما يبدو لا تعي

(1) stringents



أوحت ثمرة شجرة *النيسيا* (*في الأسفل يسارا*) بأداة مهمة أخرى في مسرح السعلاوات بمنطقة سواق. فهذه البذور ذات القيمة الغذائية العالية محاطة بإبر حادة كالموسى تجعلها خارج متناول الثدييات الملتهمة للبذور. وكي تجتنب سعلاوات منطقة سواق الإبر المؤلمة فإنها تقلع غصينات مستقيمة قصيرة وتقشر لحاءها ثم تمسكها بالفم وتدخلها في شقوق موجودة على الثمرة الناضجة (*في اليمين*). وبتحريك هذه الأداة إلى الأعلى والأسفل داخل الشق تنزع السِّعلاة البذور دون أن تصاب بأذى. وتوضح الصورة في الوسط ثمرة صغيرة ما تزال الأداة بارزة منها.

خيرات هذه الأشجار الغنية. وبهذا فإن التأويل الثقافي يقصِّر إلى حد كبير في تفسير التجاور غير المتوقع لمستخدمي الأدوات ذوي المعرفة إلى جانب الباحثين عن الطعام على الطريقة البهيمية، وكذلك يقصِّر في تفسير وجود الجهلاء على مبعدة منهم في أعالي النهر.

التقارب المتسامح(*)

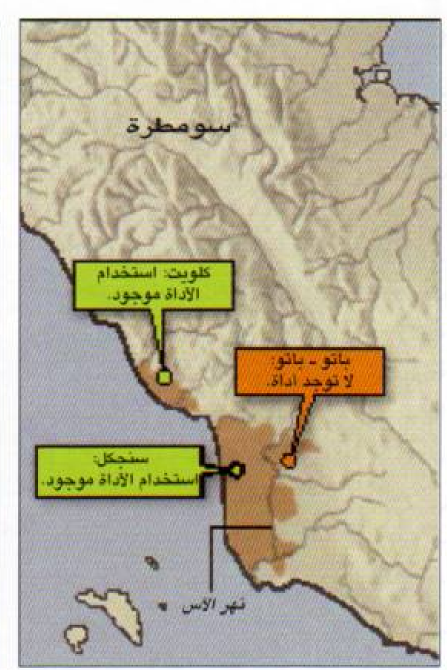
لماذا نرى هذه الأشكال البارعة لاستخدام الأداة في منطقة سواق ولا نراه في مكان آخر؟ وكيما نتفحّص هذا السؤال، قمنا أولا بمقارنة مفصلة بين جميع الأمكنة التي تعيش فيها السِّعلاوات التي تمت دراستها. ووجدنا أنه حتى بعد أن استثنينا استخدام الأداة، بقيت منطقة سواق تحظى بأكبر عدد من ابتكارات انتشرت عبر جماعة السِّعلاوات. وربما لا يكون هذا الاكتشاف أمرا **مضلِّلا** artifact وقع به اهتمامنا الخاص في السلوكيات غير المعتادة، وذلك لأنه يتفق مع نتائج جهات أخرى خاضت مزيدا من العمل على يد باحثين متحمسين لاكتشاف ابتكارات سلوكية اجتماعية مكتسبة.

لقد توصّل حدسنا إلى أن الجماعات التي تكون أفرادها ذات فرص أكبر لمشاهدة الأفراد الأخرى أثناء الأداء قد تبدي تنوعا في المهارات المكتسبة يفوق ما تبديه جماعات تنال القليل من فرص التعلّم. فقد استطعنا في الواقع إثبات أن الأمكنة التي يقضي أفرادها وقتا أطول مع أفراد أخرى إنما تمتلك أرصدة مبتكرات مكتسبة أكبر - وهذه بالمناسبة علاقة تَصْدُق أيضا على الشمپانزي (*انظر الشكل في الصفحة 76*). ونشير هنا إلى أن هذه الصلة كانت الأقوى فيما يخصّ السلوك المرتبط بالطعام، وهو معقول لأن اكتساب مهارات تغذوية من أي فرد آخر أمرٌ يحتاج إلى مشاهدة أكثر إمعانا من مجرد تلقّف إشارة اتصال بائنة. وبكلمات أخرى نقول إن الحيوانات التي تخالط أفرادا أقل تعليما تمتلك رصيدا صغيرا من التشكيلات الثقافية المنوّعة، تماما مثل حال نموذج الشخص الريفي الغر.

حينما تفحّصنا عن قرب ما بين المواقع من تباينات لاحظنا شيئا آخر، ذلك أن صغار السِّعلاة أينما كانت تمضي ما يزيد على 20 000 ساعة نهارية على اتصال وثيق بأمهاتها في صحبة متلهفة. ونشير إلى أننا رأينا كذلك في منطقة سواق وحدها أفرادا كبيرة تمضي قدرا مطوّلا من الوقت يستطعم بعضها بعضا، وعلى خلاف جماعات السِّعلاوات الأخرى التي تمت دراستها حتى الآن، فإنها تأكل بانتظام نفس المفرد الغذائي، الذي عادة ما يتمثل في الغصينات الناجمة عن نخر نمال الأرضة للأشجار، كما أنها تتشارك طعام لحم اللوريس المتثاقل على سبيل المثال. لقد سمح هذا التقارب والتسامح غير المعهود للكبار التي هي أقل مهارة بأن القرب الكافي لمشاهدة طرائق الاستطعام يحقق لها ما تحقق للصغار بنفس الحماس.

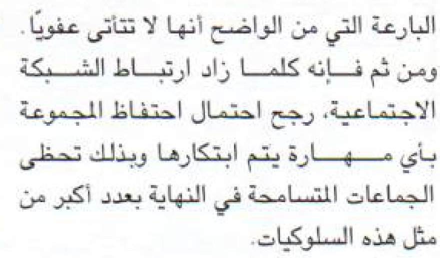
إن اكتساب الابتكارات الملحّة ذات الصفة المعرفية (مثل استخدامات الأداة الموجودة فقط في منطقة سواق) ربما يتطلّب زمن مواجهة مع أفراد ذات براعة مثلما يتطلب كذلك دورات من المشاهدة والتدريب. أما **التضمين** implication المدهش لهذا المطلب فإنه يتمثل في أن الولْدان، على الرغم من كونها تتعلّم فعليًا جميع مهاراتها من أمهاتها، لا يجعل الجماعة تستطيع نشر مبتكرات معيَّنة إلاّ إذا توافرت في المحيط نماذج تأهيل وظيفية أخرى غير الأمهات. فلو أن الأم كانت غير ماهرة فإن الولدان سوف تخالط أفرادا غير ذات خبرة، وسيبقى الصغير غير قادر على تعلّم التقنيات

(*) Tolerant Proximity





أنهار صعبة الاجتياز ربما أعاقت انتشار استخدام الأداة. فعلى سبيل المثال، توجد السَّعلاوات على جانبي نهر الآس المتسع (*انظر الصورة*). ولكن في مستنقع سنجكل (*على الخريطة*) تكثر الأدوات على أرض الغابة، في حين تستخدم السَّعلاوات المقيمة في مستنقع باتو ـ باتو على الطرف الآخر من النهر تقنية بسيطة لفتح بذور أشجار *النيسيا* لا تتضمَّن أدوات. إذ لا تستطيع أيُّ سَعلاوات مهاجرة إحضار استخدام الأداة معها إلى باتو- باتو لأن نهر الآس هناك أعرض من أن يسمح بعبور سعلاة خلاله.



البارعة التي من الواضح أنها لا تتأتى عفويًا. ومن ثم فإنه كلما زاد ارتباط الشبكة الاجتماعية، رجح احتمال احتفاظ المجموعة بأي مهارة يتم ابتكارها وبذلك تحظى الجماعات المتسامحة في النهاية بعدد أكبر من مثل هذه السلوكيات.

يبيِّن لنا عملنا في البرية أن معظم التعلّم في الطبيعة ـ باستثناء **الإشراط** canditioning البسيط ـ قد يكون له مكون اجتماعي، على الأقل في الرئيسات. وبالمقابل فإن معظم التجارب المختبرية التي تبحث في كيفية تعلّم الحيوان تهدف إلى اكتشاف مقدرة الفرد على التعلّم الفردي، وفي الحقيقة إذا جرى عرض **ألغوزة** puzzle عالم نفس مختبرية في شروط طبيعية، حيث تتنافس أعداد كثيرة من المنبِّهات في جذب الانتباه إليها، فإن الفرد المفحوص قد لا يدرك أبدا أن هناك مشكلة تنتظر الحل. أما في البرية فإن أفعال الأفراد ذات الدراية في مجتمعها تفيد في تركيز انتباه الحيوان العديم الدراية.

الجذور الثقافية للذكاء(*)

توحي تحليلاتنا حول السَّعلاوات (الأورانج أوتان) أن الثقافة (بمعنى التعلم الاجتماعي لمهارات خاصة) لا تشجع الذكاء فقط، بل تعزِّز أيضا تطوّر ذكاء يتزايد أكثر فأكثر لدى الجماعة مع مرور الوقت. هذا وتتباين الأنواع الحيوانية المختلفة كثيرا في الآليات التي تمكِّنها من التعلّم من غيرها، وتؤكد التجارب المنهجية قوة الانطباع الذي يحظى به الفرد من مشاهدة القرود الضخمة في البرية. فهذه القرود قادرة على التعلم عبر مراقبة ما يفعله غيرها. ومن ثم، حينما تكتسب السِّعلاة غير الأليفة، أو قرد أفريقي ضخم ما، سلوكا معقدا من الناحية المعرفية فإنها تكتسب هذه القابلية عبر مزيج من التعلم بالمشاهدة والممارسة الفردية، لشكل أشبه ما يكون لطفل بشري يجمع مهاراته (أو مهاراتها). وعندما اكتسبت سعلاة ما في منطقة سواق مزيدا من هذه الحيل يفوق ما اكتسبته أبناء عمومتها الأقل حظا في مكان آخر، فهي قد حققت ذلك بسبب ما حظيت به من فرص أكثر للتعلم الاجتماعي خلال حياتها. وباختصار يمكن أن يرقى التعلم الاجتماعي بالأداء الذهني للحيوان إلى مستوى أرفع.

ولتقدير أهمية **المدخولات** inputs الاجتماعية في تطور الذكاء المتنامي، دعنا نجري تجربة فكرية. تخيل شخصا يكبر بدون أي مدخولات اجتماعية مع كونه يتزوَّد بجميع احتياجاته من مأوى وتغذية. إن هذا الوضع يكافئ الحالة التي لا يوجد فيها اتصال بين الأجيال أو الحالة التي تكفل فيها الصغار نفسها بعد مغادرتها العش. تخيل الآن أن بعض الإناث من هذا النوع الحيواني ابتكرت مهارة مفيدة ـ على سبيل المثال كيف تفتح جوزة كي تستخلص منها لبّها المغذي. سيكون أداؤها جيدا وربما أنجبت نسْلا أكثر من غيرها في جماعتها. وما لم تنقل هذه المهارة إلى الجيل التالي فإن تلك المهارة سوف تختفي عند موتها.

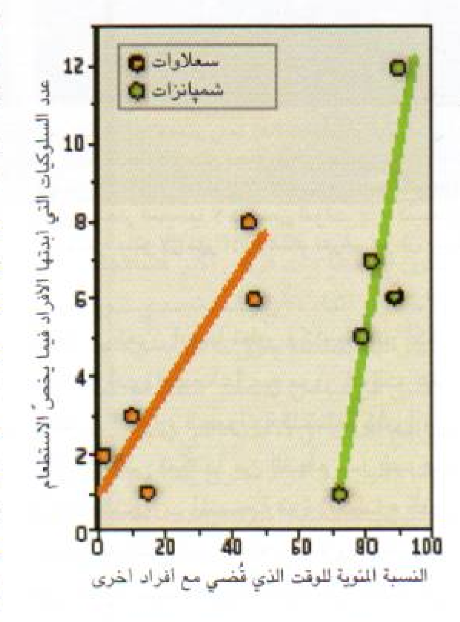
تخيل الآن حالة يرافق فيها النسل أُمَّهُ فترة من الزمن قبل أن ينفصل معتمدا على نفسه. ستتعلم غالبية الصغار التقنية الجديدة من أمهاتها وبذلك تنقلها مع ما يصاحبها من فوائد إلى الجيل اللاحق. ويمكن أن تحدث هذه العملية عموما بتطور بطيء ومصاحبة طويلة بين واحد من الوالدين ونسله على الأقل. ولكن هذه العملية تحظى بتعزيز قوي إذا ما شكَّل بضعة أفراد مجموعات ذات تسامح اجتماعي من هذا القبيل.

(*) The Cultural Roots of Intelligence

نستطيع السير خطوة أبعد. فبالنسبة للحيوانات البطيئة النمو التي تعيش في مجتمعات متسامحة اجتماعيا يميل الانتقاء (الانتخاب) الطبيعي إلى إثابة كل مقدرة طفيفة على التعلم عبر المشاهدة أكثر مما يثيب زيادة مماثلة في المقدرة على الابتكار، وذلك لأنه في مثل هذا المجتمع قد يستطيع أحد الأفراد الوقوف على منجزات الأجيال الحالية والسابقة. وعندها نتوقع اتساع عملية تلقيمٍ تقدُميةٍ تستطيع الحيوانات فيها أن تصبح أكثر ابتكارا وأن تطوِّر تقنيات أفضل للتعلم الاجتماعي، لأن كلتا المقدرتين تعتمد على آليات معرفية متشابهة، ومن ثم فإنَّ كَوْن النوع الحيواني مثقفا يسلحه بمقدرات ابتكارية تمكِّنه من التطور باتجاه ذكاء أعلى سوية، وهذا من ثم يقودنا إلى التفسير الجديد للتطور المعرفي.

ويبرِّر هذا الفرض الجديد ظاهرة محيرة مقابلة. ففي مرّات عديدة خلال القرن الماضي قام أناس بتربية أطفال قرود ضخمة على شاكلة تربيتهم أطفال البشر. وهنا اكتسب ما يدعى القرود المثقفة مجموعة مدهشة من المهارات تحاكي عفويا سلوكا معقدا (مثال فهم إشارات الدلالة، وحتى فَهْم بعض من لغة الإنسان وكذلك المزاج المَرِح وابتداع رسوم). وحديثا جدا، كشفت تجارب منهجية، مثل التجارب التي أجراها: <E. سو سافاج-رومبوت> [من جامعة ولاية جورجيا] والتي ضمَّت الشمبانزي المسمَّى «كانزي»، مقدرات لغوية مدهشة[1]. وتكشف هذه الحالات المتكررة بشكل مستديم، على الرغم من تكرار رفضها بسبب افتقارها للسند العلمي، عن إمكانات معرفية مذهلة تقبع هاجعة عند القرود الضخمة. ولئن كنا لا نستطيع تثمين تعقيد الحياة عاليا في الأدغال، فإنني أخمِّن أن هذه القرود المثقفة قد حظيت بمؤهلات مرموقة. وفي سيرورة كهذه تغلِّف قصة التطور البشري، يستطيع قرد ما يكبر مثلما يكبر الإنسان أن يبلغ قمما معرفية تفوق تلك التي يعيشها نظراؤه العاديون في البرِّية.

يحلُّ نفس خط التفكير الحيرة الطويلة الأمد حول سبب استخدام الرئيسات في الأسْر captivity الأدوات بسهولة وحتى صنع هذه الأدوات أحيانا، في حين أن نظراءها في البرِّية يبدون مفتقرين إلى مثل هذه الحوافز. أما الاقتراح الذي غالبا ما يقال من أنها ليست بحاجة إلى أدوات إنما تناقضه مشاهدات على السَّعلاوات والشمبانزات والقرود المَقْلنسة تبين أن بعضا من استخدام الأداة هذا يتيح أغنى طعام في موائل الحيوان الطبيعية أو يغيث المخلوقات في الأزمان العجاف. وتنحل هذه المسألة المحيِّرة إذا أدركنا أن فردين من نفس النوع الحيواني يمكن أن يختلفا بصورة مثيرة في أدائهما الفكري حسب البيئة الاجتماعية التي كَبُرا فيها.



إن الجماعات التي تحظى أفرادها بفرص أكبر لمشاهدة الآخرين أثناء الأداء تبدي تنوّعا أكبر بالمهارات المتعلّمة إذا ما قورنت بالجماعات التي تتاح لها فرص أقل للتعلّم، وتنطبق هذه العلاقة على الشمبانزي والسّعلاة كليهما.

وتلخِّص السَّعلاوات هذه الظاهرة. فالسَّعلاوات يُعرف عنها أنَّها فنّانات هاربة من عالم الحيوان فتحت أبواب أقفاصها بمهارة. ولكن المشاهدات المتاحة في البرِّية (على الرغم من مرور عقود من الرصد الكادح على أيدي مختصين ميدانيين) لم تكشف إلاّ عن القليل من النجاحات التقانية الثمينة خارج منطقة سواق. فالأفراد البرِّية المقبوض عليها ولا تعتبر في عداد الأفراد التي تعيش في الأسر، تحافظ دائما على خجلها الفطري وعلى شكها في البشر. أما القرود المولودة في حديقة الحيوان فإنها تعتبر القائمين على حراستها ورعايتها من البشر (بكل طيب خاطر) نماذج نفسية يُقتدى بها فتعير اهتمامها بأنشطتهم وبما يجري من حولهم، وبذلك تتجمَّع لديها مهارات متعددة.

إن النبوءة الحديَّة بنظرية **الذكاء عبر الثقافة** intelligence-through-culture تتمثَّل في أن الحيوانات الأكثر ذكاءً نرجح كذلك أنها تعيش في جماعات تتبنّى فيها المجموعة كلها بشكل روتيني الابتكارات التي تُقدِّمها أفراد من المجموعة. ونشير إلى أن الحيوانات من **سلالات** lineages مختلفة تتباين كثيرا في حواسِّها وأساليب حياتها بحيث يصعب بشكل تقليدي إيجاد مقياس واحد للأداء الفكري. وكل ما نستطيعه في الوقت الحالي لا يتعدى السؤال إن كانت السلالة التي تبدي علامات ذكاء محقّقة تمتلك ثقافات مبنية على الابتكار أم العكس بالعكس. صحيح أن خاصِّية تعرُّف الفرد نفسه في المرآة، على سبيل المثال، أمر غير مفهوم تماما، لكنها علامة واضحة عن وعي الذات، الأمر الذي يعتبر دلالة على ذكاء عالٍ. ولغاية الآن على الرغم من الدراسات الواسعة على سلالات عديدة فإن مجموعات الثدييات الوحيدة التي نجحت في هذا **الرائز** test هي القرود الكبيرة والدلافين، وهي الحيوانات ذاتها التي تستطيع تعلم وفهم عدة رموز تحكيمية والتي تبدي أقوى الأدلة على المحاكاة التي تمثِّل أساس الثقافة المبنيّة على الابتكار. إن الاستخدام المرن لأدوات تعتمد على الابتكار والذي يُعَدُّ تعبيرا آخر من الذكاء إنما يتمتع بتوزُّع عريض عند الثدييات: فالنسانيس والقرود والحوتيات والفيلة جميعها سلالات يشيع فيها التعلّم الاجتماعي. وعلى الرغم من الاقتصار على الرائزات الفجَّة، فإنها بمجملها تدعم فرضية الذكاء عبر الثقافة.

وهناك نبوءة أخرى مهمَّة تتمثل في أن استعداديْ الابتكار والتعلّم الاجتماعي لا بد أن يكونا قد تطوّرا معا. وفي الواقع وجد <S. ريدر> [في جامعة اترخت بهولندا] و<K. لالاند> [في جامعة سانت اندروز بأسكتلندا] أن أنواع الرئيسات التي تبدي أدلة أكثر على الابتكار هي تلك التي تبدي

(1) انظر: "The Emergence of Intelligence," by William H. Calvin; *Scientific American*, October 1994



تكون السَّعلاوات بالقرب من الساحل الغربي لسومطرة أكثر تجمُّعا بعضها إلى بعض من نظرائها القرود الحمراء التي تعيش في أي مكان آخر. وفي الصورة يافعان يبحث أحدهما على صحبة في كل فرصة محتملة.

أكبر الأدلة على التعلّم الاجتماعي. وهناك مزيدٌ من الاختبارات غير المباشرة تستند إلى **ترابطات** correlations لدى الأنواع بين الحجم النسبي للمخ (بعد التصويب الإحصائي بالنسبة إلى حجم الجسم) وبين المتغيِّرين الاجتماعي والتنموي. أما الترابطات الراسخة بين الخاصيّة الاجتماعية والحجم النسبي للمخ في مختلف مجموعات الثدييات فإنها تتفق مع هذه الفكرة.

وعلى الرغم من أن هذه الفرضية الجديدة غير كافية لتفسير سبب تفرُّد أسلافنا وحدهم من بين القردة الكبيرة بتطوير مثل هذا الذكاء الجامح، فإن المقدرة الإبداعية المتميزة لدى القرود الكبيرة في التجمّعات ذات الثقافة الخصبة تجعل الفجوة تبدو أقل هولا. ويتضمّن تفسير المسار التاريخي للتغيُّر تفاصيل عديدة يجب تأطيرها معا بشكل جاد انطلاقا من سجلات أحفورية متناثرة ومشوشة. ويظن العديد من الباحثين أن ثمَّة تغيرا رئيسيا يتمثل في غزو السافانا من قبل **الإنسان القديم** early Homo المتسلح بالجرأة وبالقدرة على صنع الأداة. فمن أجل استخراج درنات النبات وسلْخ اللحم واتقاء الأجساد الضخمة للثدييات، كان على هذا الإنسان أن يعمل بشكل جماعي وأن يبدع أدوات واستراتيجيات. وبناءً على ذلك عزّزت هذه المتطلبات خاصيّة الابتكار والاتكال المتبادل قُدُما مما أدى إلى تنامي الذكاء.

وما إن أصبحنا بشرا حتى بدأ التاريخ الثقافي **يتآثر** interact مع مقدرتنا الفطرية على تحسين الأداء. فمنذ ما يقرب من 150 000 عام تلت نشوء نوعنا الخاص كبشر انتشرت **تعبيرات الرمزية البشرية** human symbolism مثل الفن والآلات الموسيقية وطقوس الدفن [انظر: «*بدايات الفكر الحديث*»، **العلوم**، العدد 9 (2005)، ص 46]. ويدلُّ انفجار التقانة خلال العشرة آلاف سنة الماضية على أن المدخولات الثقافية تستطيع أن تطلق العنان لمنجزات غير محدودة انبعاثا من أدمغة زمن العصر الحجري. فالثقافة تستطيع في الواقع أن تبني عقلا جديدا من دماغ قديم. ■

المؤلف

Carel Van Schaik

هو مدير المعهد والمتحف الأنثروبولوجي في جامعة زيوريخ بسويسرا. وهو هولندي الأصل، حصل على الدكتوراه من جامعة أوترخت عام 1988، وبعد حصوله على منحة ما بعد الدكتوراه من جامعة برنستون ومنحة أخرى قصيرة من جامعة أوترخت ذهب إلى جامعة ديوك حيث عمل أستاذا لبيولوجيا علم الإنسان (الأنثروبولوجيا) إلى أن عاد إلى العالم القديم في عام 2004. أما كتابه بعنوان «بين السّعلاوات: القرود الحمر ونشوء الثقافة البشرية» (مطبعة جامعة هارڤرد 2004) فإنه يعطي مزيدا من التفاصيل حول الأفكار التي تمّت تغطيتها في هذه المقالة.

مراجع للاستزادة

A Model for Tool-Use Traditions in Primates: Implications for the Coevolution of Culture and Cognition. C. P. van Schaik and G. R. Pradhan in *Journal of Human Evolution*, Vol. 44, pages 645–664; 2003.

Orangutan Cultures and the Evolution of Material Culture. C. P. van Schaik, M. Ancrenaz, G. Borgen, B. Galdikas, C. D. Knott, I. Singleton, A. Suzuki, S. S. Utami and M. Y. Merrill in *Science*, Vol. 299, pages 102–105; 2003.

Conformity to Cultural Norms of Tool Use in Chimpanzees. Andrew Whiten, Vicky Horner and Frans de Waal in *Nature* online; August 2005.

Scientific American, April 2006

مصافي النفط (البترول)
خَمْرَة الكربون(*)

إن **زيت التسخين** heating oil والبنزين و**الوقود النفاث** jet fuel وزيت الكاز (الكيروسين) والبلاستيك وغيرها هي منتجات تشتق من النفط الخام فيما يشبه صومعة حبوب كبيرة تطلق دخانا، حيث تصفى وتنقى خلال شبكة معقدة من الأنابيب والتجهيزات.

يحوي النفط الخام مئات من الهدروكربونات المختلفة. تقوم مصافي الولايات المتحدة بتحويل نصف كمية النفط الخام إلى بنزين ـ مزيج من الوقود ـ وفيه على الأخص 2-2-4 ثلاثي ميتيل البنتان 2,2,4 tri-methylpentane (ثماني ذرات كربون متسلسلة) والهيتان heptane (سبع ذرات كربون). وكلما زاد تعقيد السلسلة أصبح الجزيء أكثر قابلية للانضغاط قبل أن يشتعل تلقائيا بسلاسة في المحرك (دون انفجار)، مما يسمح للآلة أن تعمل تحت نسبة ضغط عالية وتعطي بالتالي طاقة أكبر. ويتألف مزيج الاختبار لمعرفة رقم أوكتان البنزين بجمع 2-2-4 ثلاثي ميتيل البنتان والهيتان (87 إلى 13 في المئة) ليعطي 87 أوكتان.

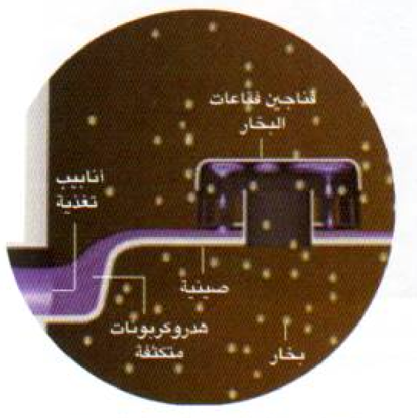
لقد اختبرت بعض المصافي فيما سبق إضافة بعض المواد لرفع رقم الأوكتان، مثل رابع إيتيل الرصاص كما في البنزين المرصص، لكنه استُبعد نظرا لتخريبه المحولات الحفازة المستخدمة لخفض الانبعاثات الغازية الملوثة للبيئة. وقد تحول المنتجون إلى استخدام ميتيل ثلاثي بوتيل إيتر (MTBE)، لكن عُزي إليه لاحقا تلويثه للمياه الجوفية، مما دعا الحكومات إلى منع استخدامه وحل الكحول الإيتلي كبديل يزداد استخدامه والذي يقدر أوكتانه بنحو 108 أو 110. ويسوق البنزين الذي يحوي 10% من الكحول (الإيتانول) باسم گازوهول gasohol.

وفي الولايات المتحدة لم تُنشأ خلال ثلاثين عاما مصاف جديدة، وذلك بسبب معارضة الأهالي مجاورة هذه المصافي وبسبب التقييدات البيئية. ومع توسيع بعض المنشآت القائمة، يجري استثمار ما يزيد على 90 في المئة من طاقة المصافي على نطاق الولايات المتحدة الأمريكية، وذلك حسب رأي <H. شوبرت> [أستاذ علم الوقود ومدير معهد الطاقة في جامعة پنسلڤانيا]، حيث يقول: «إذا توقفت واحدة أو اثنتان من المصافي عن العمل، كما حصل خلال إعصار كاترينا، فسيكون هناك نقص في التكرير وسوف ترتفع الأسعار في محطات الوقود.»

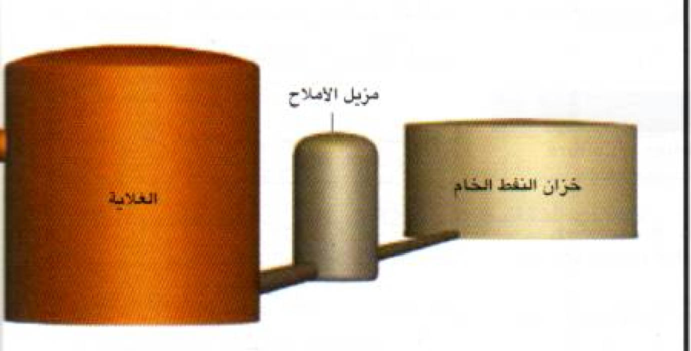
ومع ذلك، لا يمكن توجيه اللوم إلى المصافي ـ كما حدث ـ عند الارتفاع الكبير في الأسعار؛ إذ إن إدارة معلومات الطاقة الأمريكية تحتسب 18 في المئة من السعر النهائي لعملية التكرير (يأتي 47 في المئة من ثمن النفط الخام و23 في المئة من الضرائب و12 في المئة من تكاليف التوزيع وتجار التجزئة). ويقول <شوبرت> إن أرباح المصافي هي عبارة عن بضعة سنتات للگالون الواحد، وهكذا فالربح المنخفض ومعارضة الأهالي لا تحفز الشركات كثيرا على استثمار بليوني دولار أو أكثر لبناء مصفاة نفط جديدة. ■

<M. فيشيتي>

يُغلى النفط الخام في المصفاة وتدخل الأبخرة إلى عمود التقطير حيث ترتفع وتتكثف عندما تبرد إلى ما دون درجة غليانها. تتكاثف سلاسل الهدروكربونات الطويلة والمعقدة (أو ما يدعى بالقطفات) عند درجات حرارة عالية قرب قاع العمود، في حين تتكاثف سلاسل الهدروكربونات القصيرة والبسيطة عند درجة حرارة أخفض بالقرب من أعلى العمود. كما تستخدم عمليات ثانوية مثل التكسير والتحسين لتنقية إضافية للنواتج السائلة.



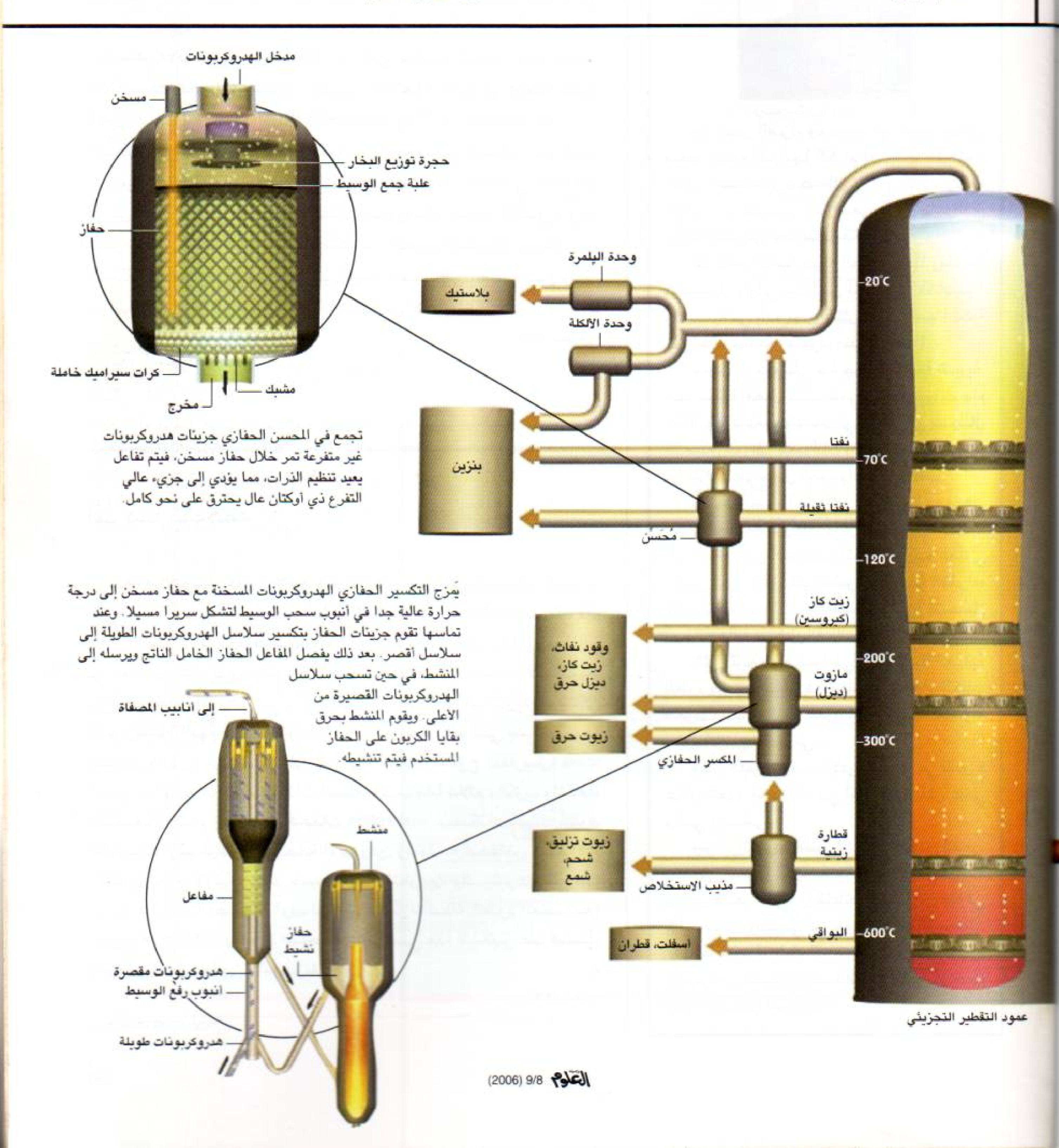
الصواني المثقبة تسمح للبخار بأن يصعد على شكل فقاعات حيث تتكثف وتسيل نحو أنابيب التغذية.



(*) CARBON HOOCH

هل تعلم...

- عندما أصبح زيت الحوت المستخدم في مصابيح الإنارة نادرا نحو عام 1850، قام الكنديون بتحويل الزيت المتسرب إلى زيت كاز (كيروسين). كما قام الروس بحفر آبار نفط تجريبية، لكن لم تنطلق هذه الصناعة حتى عام 1859، عندما قام الصناعي <G. بيسل> بالتعاقد مع <E. دراك> لحفر بئر بالقرب من أويل كريك في پنسلڤانيا الذي أنتج البارفين القابل للتقطير إلى كيروسين ومنتج ثانوي هو البنزين الذي أهمل ظنا أنه عديم الفائدة.
- كلمة واحدة ـ بلاستيك (لدائن): تحوي بعض أنواع النفط الخام بروپان وبوتان منحلين يتحرران عند قمة عمود التقطير، يحول البروپان بعدئذ إلى پروپيلين لاستخدامه في النسيج وتغليف الأطعمة وبعض مكونات السيارات ويحول البوتان إلى بوتادين من أجل المطاط الصناعي. يصفى معظم الإتيلين.
- والبولي إتيلين الموجود في الحاويات البلاستيكية وفي التغليف، مصنع في مكسر حراري عند درجة حرارة عالية وضغط منخفض. يقوم المكسر بتفكيك الهدروكربونات على شكل زوج من ذرات الكربون في كل مرحلة. ويشرح ذلك <H. شوبرت> قائلا: «إن كل زوج ثنائي الارتباط هو جزيء إتيلين.»
- الأوپك (منظمة الأقطار المصدرة للنفط) مرة أخرى: تزداد طاقة التكرير بشكل كبير في أقطار أوپك حيث تتضمن المنشآت قيد التركيب في الكويت إنتاج 000 600 برميل في اليوم وفي المملكة العربية السعودية 000 450؛ كما تخطط الهند والصين وكوريا الجنوبية لنمو واسع في هذا المجال. وتعتزم الشركة Arizona Clean Fuels إنشاء مصفاة نفط باستطاعة 000 150 لكنها لم تحصل بعد على الموافقات اللازمة، كما لم تؤمن التمويل اللازم.



تجمع في المحسن الحفازي جزيئات هدروكربونات غير متفرعة تمر خلال حفاز مسخن، فيتم تفاعل يعيد تنظيم الذرات، مما يؤدي إلى جزيء عالي التفرع ذي أوكتان عال يحترق على نحو كامل.

يَمزج التكسير الحفازي الهدروكربونات المسخنة مع حفاز مسخن إلى درجة حرارة عالية جدا في أنبوب سحب الوسيط لتشكل سريرا مسيلا. وعند تماسها تقوم جزيئات الحفاز بتكسير سلاسل الهدروكربونات الطويلة إلى سلاسل أقصر. بعد ذلك يفصل المفاعل الحفاز الخامل الناتج ويرسله إلى المنشط، في حين تسحب سلاسل الهدروكربونات القصيرة من الأعلى. ويقوم المنشط بحرق بقايا الكربون على الحفاز المستخدم فيتم تنشيطه.

أخبار علمية

انقطاع التنفس الرّقادي(*)

إن الذين يموتون أثناء نومهم غالبا ما يُسجّلون كحالات من القصور القلبي، ولكن يمكن أن يكون السبب الحقيقي أحيانا انقطاع التنفس **الرّقادي**[1] sleep apnea. لقد حقن باحثون ذيفانا عصبيا خلوي النوعية في ناحية صغيرة جدا من جذع الدماغ لدى الجرذان؛ أي فيما قبل **مجمع بوتزينكر** pre-Bötzinger complex، التي هي أساسية للتنفس. وبعد بضعة أيام أصيبت الجرذان بمشكلات تنفسية: أولا خلال النوم في **مرحلة تحرك العين السريع (الريم** rapid eye movements (REM**)**، ثم امتدت هذه المشكلات إلى فترة النوم خارج فترة نوم الريم وفترة السهاد. لقد أشار باحثون في تقرير على الإنترنت لمجلة *Nature Neuroscience* في 2005/8/7، إلى أن انقطاعات في نظم التنفس تتكرر بصورة متزايدة بين الكهول وأولئك الذين يعانون اضطرابات عصبية تنكسية. ويخمن الباحثون أن نفاد هذه العصبونات بسبب المرض أو الشيخوخة، يفضي إلى انقطاع نَفَس وخيم متزايد، يعجز معه الجسم في نهاية المطاف عن الاستيقاظ. ■

<J. R. مينكل>

(*) TAKE YOUR BREATH AWAY

(1) في أثناء النوم.

أقد مما تتوهمه(*)

مع أن **الأدوية الغُفْل** placebos قد لا تكون سوى أدوية خادعة، فالفوائد التي يعتقد المرضى أنهم حصلوا عليها تبدو أكثر من كونها أوهاما. فقد قام علماء الأعصاب في جامعة ميتشيگان (آن آربر) وماريلاند بحقن الماء المالح في عضلات الفك لدى متطوعين شباب أصحاء بغية إحداث الألم لديهم. وأخبرهم الباحثون بعد ذلك أن **تنقيط** drips الماء المالح في الوريد قد يسكنُ الألم، وطلبوا إليهم أن يسجلوا كل 15 ثانية شدة الألم التي يشعرون بها وفقا لسلم مدرج من الصفر إلى المئة. وقد كشفت **مسوح (تفاريس)** scans الدماغ أن الباحات العصبية ذات الصلة بالاستجابة للألم والكرْب والمكافأة والانفعال، حررت **الإندورفينات** endorphins: مسكنات تسلك سلوك الأفيونيات. وقد توافقت استجابة الإندورفين زمنيا مع انخفاض شدة الألم والشعور بعدم الارتياح وذلك حسب تقرير المتطوعين. وقد نشرت نتائج هذا البحث في مجلة «*جورنال أوف نورو سيانس*» (*مجلة العلوم العصبية*) بتاريخ 2005/8/24. ويخطط الباحثون لتقصي هذا التأثير عند النساء والمرضى الذين يعانون آلاما مزمنة. ■

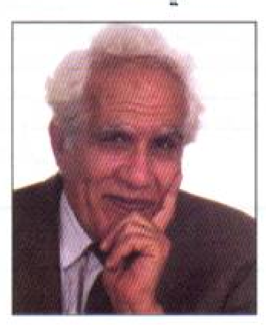
<C. Q. شوا>

(*) USE YOUR IIIUSION

إنا لله وإنا إليه راجعون

أ.د. أحمد مستجير مصطفى

في ذمة الله



بخالص العزاء وعظيم المواساة تنعى *مجلة العلوم* لقرائها الكرام الأستاذ الدكتور **أحمد مستجير مصطفى**، الذي كان - رحمه الله - أحد مترجمي ومراجعي مقالاتها، والذي وافاه الأجل عن عمر يناهز 72 عاما.

لقد عاش الفقيد حياته العلمية باحثا ومدرسا وخبيرا، وتولى عددا من المناصب الأكاديمية والرسمية في بلده مصر، كان آخرها عميدا لكلية الزراعة - جامعة القاهرة، منذ عام 1986.

حصل المرحوم على عدة جوائز وأوسمة تقديرية، منها جائزة أفضل كتاب علمي مترجم - وذلك عام 1993. وله عدة مؤلفات في الأدب وفي مجال التحسين الوراثي للحيوانات وترجم مجموعة كبيرة من المؤلفات في مجال العلوم والفلسفة والأدب.

يعد المرحوم أحد أهم العلماء العرب في مجال الهندسة الوراثية، وكان يلقب «أبو الهندسة الوراثية». ومن أهم إنجازاته مشروعه العلمي الكبير الذي أطلق عليه مشروع «زراعة الفقراء» لاستنباط سلالات من القمح والأرز تتحمل درجات عالية من الملوحة والجفاف.

كان المرحوم عضوا في الأكاديمية العالمية للعلوم والفنون بسان فرانسيسكو واتحاد الكتاب العرب ومجمع اللغة العربية والجمعية المصرية لعلوم الإنتاج الحيواني...

وكان الفقيد يلقب بـ«الأديب المتنكر في صورة عالم» لتعدد إسهاماته في أكثر من ميدان علمي وأدبي وإنساني.

ومن أبرز جهوده الأدبية كتاباته في عروض الشعر، وضع في إحداها نظرية علمية رياضياتية لدراسة عروض الشعر العربي وإيقاعاته الموسيقية أودعها في كتابه «مدخل رياضياتي إلى عروض الشعر العربي».

لفقيدنا - إن شاء الله - أجر العلماء الأخيار، ولأسرته ومحبيه وأصدقائه الكثيرين خالص العزاء وصادق المواساة.

المجلد 23 ـ العددان 3/2
فبراير/ مارس 2007

مجلة العلوم

الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

SCIENTIFIC AMERICAN
February / March 2007



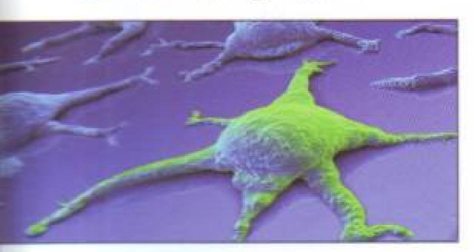
أسرار البراكين العملاقة



التلوث والخوض في الفضلات



تأثير برامج الطب العدلي (الشرعي) التلفازية في قرارات المحلفين



هل الخلايا الجذعية المسبب الحقيقي للسرطان؟

فجر عصر الإنسالية (الروبوتية)

العددان 227/226 - السعر: 1.500 دينار كويتي

المقالات

ترجمة أو مراجعة

«**مجلة العلوم**» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**» وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت. وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«**مجلة العلوم**» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«**ساينتفيك امريكان**» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «**ساينتفيك امريكان**» بثماني عشرة لغة عالية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول.



Majallat AlOloom

مجلة العلوم

المجلد 23 ـ العددان 3/2
فبراير/مارس 2007

أغرب الأقمار في المنظومة الشمسية(*)

نوع غريب من *السواتل* الكوكبية يسبح في مدارات متطاولة مائلة، يفتح نافذة نطل منها على طريقة تكوّن الكواكب.

<D. جيويت> ـ <S. S. شيپارد> ـ <J. كلينا>

قبل خمس سنوات، كان اثنان منا يمضيان وقت راحتهما في ليلة غائمة على ذروة جبل ماوناكيا، وذلك بتخمين عدد الأقمار التي لم تُكتشف بعد في المنظومة الشمسية. وقد راهن أحدنا (جيويت) بمبلغ 100 دولار على أن بمقدور مقراب متطور أن يكتشف 10 أقمار جديدة على الأكثر. وقد ذكر أن الفلكيين لم يكتشفوا طوال القرن العشرين كله سوى بضعة أقمار. أما <شيپارد>، فكان أكثر تفاؤلا، وتوقع ضعف العدد الذي خمنه زميله، وذلك استنادا إلى الحساسية المتعاظمة للآلات الفلكية الحديثة.

لقد أصبح <شيپارد> حاليا أغنى من قبل، إذ إن فريقنا اكتشف منذ تلك الليلة حتى الآن 62 قمرا يدور حول الكواكب العملاقة، وأكد اكتشاف المزيد منها في المستقبل. وقد عثرت مجموعات أخرى من الفلكيين على 24 قمرا إضافيا. (وبالمصطلحات الفلكية الدقيقة، هذه «**سواتل**» satellites لا «**أقمار**» moons؛ ذلك أنه يوجد قمر واحد، هو ساتل الأرض. لكن، حتى الفلكيين يستخدمون عموما مصطلح «الأقمار» الشائع الاستعمال). ولم يتنبأ أحد بأن عائلة الشمس تضم عددا كبيرا من الأعضاء الذين يتوارون في الظلال. وقد وُصفت هذه الأعضاء بأنها **لانظامية** irregular، وهذا يعني أن مداراتها الإهليلجية متطاولة جدا ومائلة على مستويات استواء الكواكب التي تستضيفها. وما يسمى أقمارا **نظامية** regular، مثل الأرض، أو سواتل المشتري **الكاليلية** Galilean الكبيرة، فلها مدارات دائرية وصغيرة نسبيا واستوائية تقريبا.

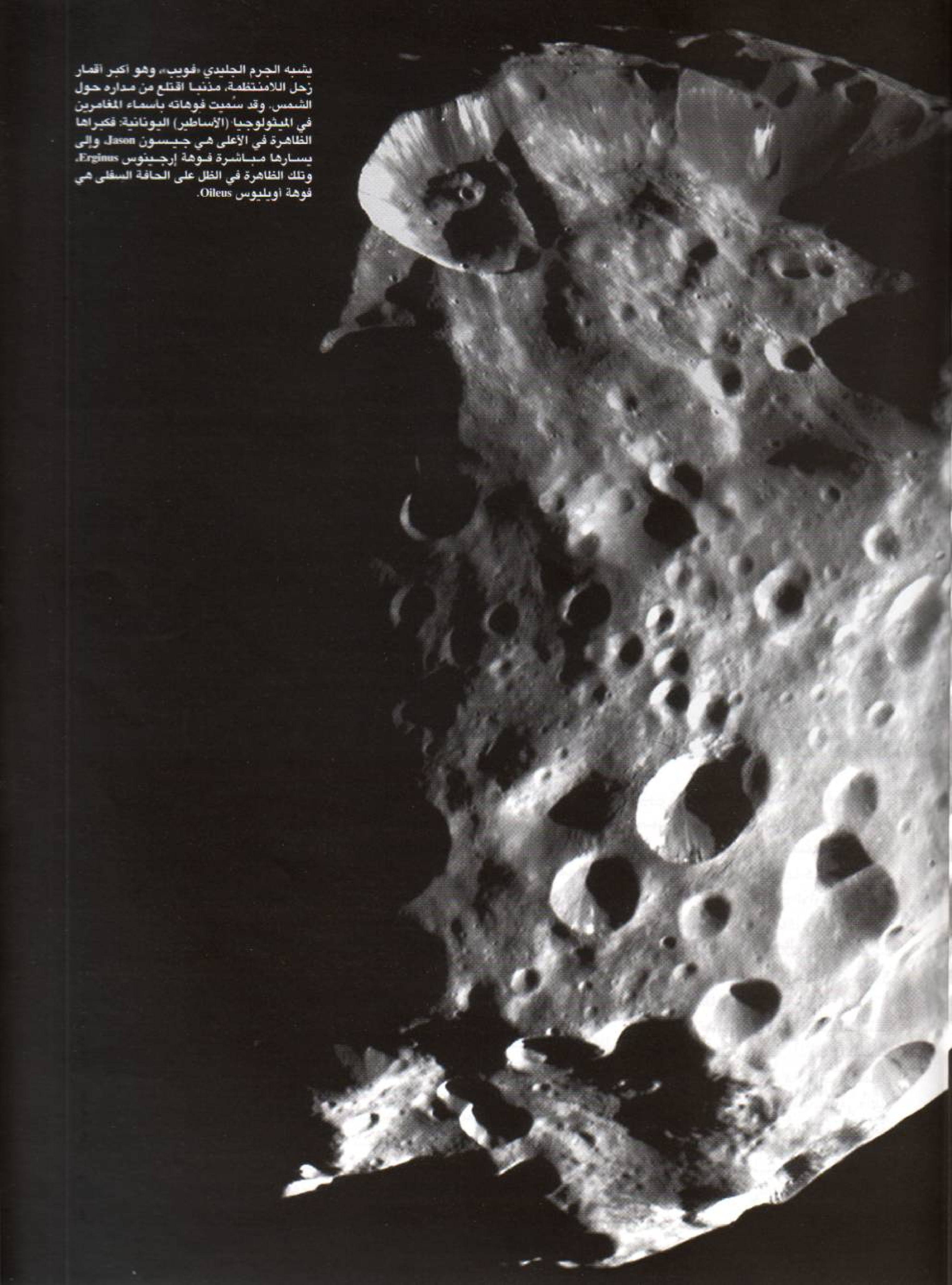
وما يزيد الأقمار اللانظامية غرابة أن لمعظمها **مدارات متراجعة** retrograde، أي إن كلا منها يدور حول كوكبه المضيف باتجاه معاكس لاتجاه دوران الكوكب حول محوره، خلافا للأقمار النظامية، التي لدورانها حول كواكبها المضيفة ولدوران هذه الكواكب حول محاورها، اتجاه واحد. وعلى سبيل المثال،

(*) العنوان الأصلي: THE STRANGEST SATTELITES IN THE SOLAR SYSTEM. لقد استخدمنا هنا الاسم الشائع: أقمار بدلا من سواتل، حيث ـ كما يتبين في الفقرة الثانية من هذه المقالة ـ يوجد قمر واحد وهو ساتل الأرض. (التحرير)

(**) Overview/ Irregular Moons

نظرة إجمالية/ الأقمار اللانظامية(**)

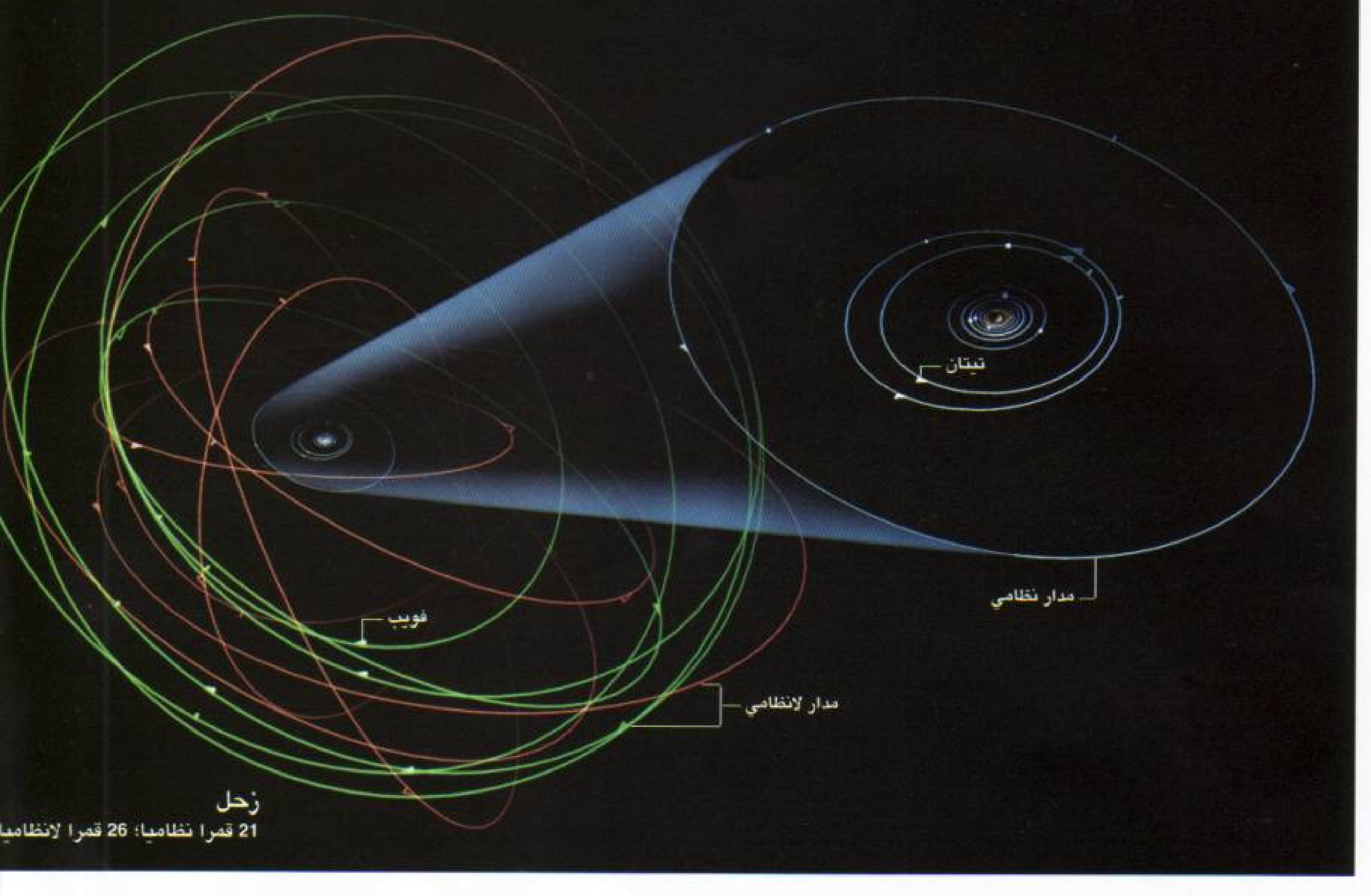
- **اعتاد الفلكيون الظن أن معظم أقمار الكواكب تكوّنت من الأقراص التي تحيط بكواكبها، تماما مثلما تكونت المنظومة الشمسية نفسها (من قرص من الغاز والغبار، تحول الجزء الخارجي منه إلى الكواكب)، ولكن بأبعاد صغيرة جدا. وتتحرك هذه الأقمار في مدارات واقعة في نفس مستوى استواء الكوكب الذي تدور حوله، وبنفس اتجاه دوران الكوكب حول محوره. أما الأجسام القليلة التي لا تلائم هذا النموذج، فقد اعتُبرت لامنتظمة.**
- **ويبين عدد كبير من المكتشفات الحديثة، التي تستعين بمكاشيف detectors رقمية متقدمة، أن عدد الأقمار اللامنتظمة أكبر من عدد الأقمار النظامية. وتشير مداراتها الطويلة المائلة الحلقية إلى أنها لم تتكون حيث هي حاليا، إنما كانت في مسارات تحيط بالشمس. وبصورة أساسية، هي كويكبات ومذنبات أسرتها الكواكب بطريقة ما.**
- **لم نصل بعد إلى فهم جيد، لا لمنطقة مصدر هذه الأقمار، ولا لآلية أسرها. فقد تكون الأقمار أتت من حزام كويپر الواقع وراء نپتون، أو من مناطق أقرب. وقد تتضمن عمليات أسرها تصادمات أو تفاعلات أخرى في منظومة شمسية أصغر سنا، وأكثف ازدحاما بالأجسام.**



يشبه الجرم الجليدي «فويب»، وهو أكبر أقمار زحل اللامنتظمة، مذنبًا اقتلع من مداره حول الشمس. وقد سُميت فوهاته بأسماء المغامرين في الميثولوجيا (الأساطير) اليونانية: فكبراها الظاهرة في الأعلى هي جيسون Jason وإلى يسارها مباشرة فوهة إرجينوس Erginus، وتلك الظاهرة في الظل على الحافة السفلى هي فوهة أويليوس Oileus.

سرب من الأقمار(*)

كانت معرفتنا للمدى الكامل لنظام الأقمار حول زحل ضعيفة جدا، لكنها تغيرت في السنوات القليلة الماضية. فقد تبين أن هذه السواتل تنتمي إلى طائفتين كبيرتين: أقمار نظامية (*اللون الأزرق*) مثل تيتان ولابيتوس، التي لها مدارات صغيرة موجودة في مستو واحد، وأقمار لانظامية، مثل فويب، التي لها مدارات أوسع واتجاهات حركة متغايرة. فبعضها يدور بالاتجاه نفسه الذي يدور به زحل (*اللون الأحمر*)؛ وبعضها الآخر يسير بالاتجاه المعاكس (*اللون الأخضر*). وثمة أنظمة مشابهة من الأقمار تحيط بالكواكب العملاقة الأخرى (*أقصى اليسار*). وتعرض هذه المخططات اعتيانا sampling لعدد الأقمار الكلي.



فإن قمرنا يُرى من موقع فوق القطب الشمالي للأرض أنه يدور بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة ـ وهو الاتجاه نفسه الذي تدور به الأرض حول محورها وحول الشمس. وتتحرك الكواكب الأخرى أيضا بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة، وهذا نمط من الدوران يعكس الحركة **الدوّامية** suirling لقرص الغاز والغبار، الذي يُفترض أن تكون هذه الكواكب نشأت عنه قبل 4.5 بليون سنة. وتشارك الأقمار النظامية كواكبها في اتجاه الحركة، لأن الفلكيين يظنون أنها تكونت من أقراص حول الكواكب المضيفة. لذا فإن السلوك المخالف للأقمار اللانظامية إشارة إلى أنها من أصل مختلف.

لا يمكن تقديم وصف جيد لهذه الأجسام بنماذج مألوفة، لكن ثمة مجموعة من الأبحاث النظرية الطازجة ماضية قدما في دراسة هذا الموضوع. ويبدو أن هذه الأقمار منتجات لحقبة انقضت قبل وقت طويل، عندما بعثر السَّحب التثاقلي(1) للكواكب المكوَّنة حديثا ـ أو اختُطف ـ أجساما صغيرة من مداراتها الأصلية. وتَعد دراسة هذه الأجسام بتسليط الضوء على المراحل المبكرة لنشوء المنظومة الشمسية وتطورها.

ومع أن أول قمر لانظامي جرى اكتشافه كان تريتون Triton، قمر نپتون، وذلك عام 1846، فلم يتيسر اكتشاف غيره من الأقمار اللانظامية إلا حديثا، إذ يغلب عليها أن تكون أصغر، وأخفت نورا من نظائرها من الأقمار النظامية. يُضاف إلى هذه المشكلة توزعها على رقعة شاسعة جدا من الفضاء. فمثلا، يبعد كالّيستو Callisto، أبعد أقمار المشتري النظامية، 1.9 مليون كيلومتر عن المشتري، في حين تبعد أقماره اللانظامية المعروفة قرابة 30 مليون كيلومتر عنه. وهذه المسافة قريبة من نصف قطر المجال التثاقلي للمشتري، أو **كرة هِلَ** Hill sphere التي ما بَعْدها تختطف الشمس أي قمر طليق. وإذا كان من الممكن للعين رؤية كرة هِلّ، لكانت الزاوية التي نرى ضمنها هذه الكرة 10 درجات ـ وهي أكبر 20 مرة من القطر الزاوي لقمر الأرض عندما يكون بدرا. وهذا عدد هائل مقارنة بحقول رؤية معظم المقاريب.

ويتطلب مسحُ مثل هذه المنطقة المترامية الأطراف للأقمار استعمال أحدث **المكاشيف** detectors الرقمية وأكبرها، وإجراء تحليل يصل إلى 100 جيكابتة من البيانات في الليلة [*انظر الإطار في الصفحة 10*]. وفي البداية، تركَّز المسح المسمى Hawaii Moon Survey،

(*) A Swarm of Moons
(1) gravitational tug

المشتري
8 أقمار نظامية؛ 55 قمرا لانظاميا

أورانوس
18 قمرا نظاميا؛ 9 أقمار لانظامية

نبتون
6 أقمار نظامية؛ 7 أقمار لانظامية

على المشتري، الذي يسمح قربه منا بسبر أقمار صغيرة نورها أخفت من أن نتمكن من اكتشافها لو كانت تدور حول كواكب عملاقة أخرى أبعد من المشتري. وقد بذلت فِرَق يقودها <B. كلادمان> [من جامعة كولومبيا] و<M. هولمان> [من مركز هارفرد السميثسوني للفيزياء الفلكية (CfA)] و<J. J. كافيلارس> [من مجلس الأبحاث الوطنية التابع لمعهد هرزبيرگ الكندي للفيزياء الفلكية] جهودا متوازية لمسح زحل وأورانوس ونبتون.

وقد تبين أن لجميع هذه الكواكب العملاقة الأربعة، بصرف النظر عن كتلها، منظومات من الأقمار اللامنتظمة. وبتقدير **استقرائي** extrapolation مما اكتُشف حتى الآن، فإننا نقدر أن لكل من هذه الكواكب قرابة 100 قمر لانظامي، قطر كل منها أكبر من كيلومتر واحد؛ وتشغل أجسامها مجالا واسعا من الحجوم، لكن لمعظمها حجوم صغيرة. وفي حالة المشتري، فإن قطر أكبر أقماره اللامنتظمة أي J6 Himalia، يساوي 180 كيلومترا تقريبا، وقطر أصغرها يساوي كيلومترا واحدا أو كيلومترين.

إن مدارات هذه الأقمار من أكثر المدارات تعقيدا في المنظومة الشمسية. ولما كانت تطوف بعيدا جدا عن كواكبها المضيفة، فهي تُسحب من كلتا الثقالتين الكوكبية والشمسية، وهذا يجعل المحاور الكبرى لمداراتها الناقصية تدور بسرعة عالية، ما يجعل تمثيل مسارات هذه الأقمار بمنحنيات مغلقة غير دقيق. وبدلا من ذلك، فإن الأقمار تَرسم مسارات غريبة شبيهة بالأشكال التي تصنعها لعبة الأطفال spirograph.

إيقاع كوني متعدد(*)

عندما تعمل بالتزامن(1) التأثيرات المختلفة في الأقمار، يصبح الوضع معقدا جدا. فمثلا، إذا كان معدل **المبادرة**(2) precession لقمر قريبا من معدل دوران كوكبه المضيف حول الشمس، قيل إن القمر في حالة تجاوب «**تفاوتي**» evection resonance. هذا وإن الآثار المتواضعة للثقالة الشمسية تتراكم مع الوقت، ما يجعل المدار غير مستقر، فيتطاول القطع الناقص إلى مدى يؤدي إلى اصطدام القمر بالكوكب (أو بأحد أقماره الكبيرة)، أو إلى خروجه من كرة هِلّ ووقوعه في الأحضان الثقالية للشمس. هذا وإن **المدارات المتقدمة** prograde أكثر عرضة للتأذي من المدارات المتراجعة. فإذا كانت الأقمار اللامنتظمة معرضة في الأصل لأن تكون متقدمة أو متراجعة باحتمالين متساويين، فإن التجاوب التفاوتي قد يفسر السبب في كون معظم الأقمار هي حاليا متراجعة.

وثمة تجاوب آخر، يُعرف باسم **تجاوب كوزاي** Kozai resonance، يزاوج بين ميل المدار وشكله. فالأقمار التي تُفرض عليها مدارات مائلة تتحول مداراتها إلى قطوع ناقصة ممطوطة، ويُحتمل أن يؤدي هذا ثانية إلى قذفها خارجا أو تدميرها. وقد يكون هذا هو سبب عدم عثور الراصدين على أقمار ميولها تقع بين 50 و 130 درجة. واختصارا نقول إنه يبدو أن الأقمار اللامنتظمة، التي نراها في هذه الأيام، هي تلك التي نجت من التفاعلات الثقالية التي قضت على كثير من أقمارها الشقيقة.

مازالت سمات أخرى للمدارات تتطلب عمليات خارج الثقالة. فالأقمار تنتمي إلى زمر، أو عائلات، متمايزة، لكل منها مدارات متشابهة. وعلى سبيل المثال، فإن عدد أقمار كل من زمر المشتري يصل إلى 17 عنصرا. وأوضح تفسيرٍ لهذا هو أن عناصر زمرة ما هي قطع من أقمار كبيرة تحطمت نتيجة صدمة، ومازالت تواصل حركتها في مدار تلك الأقمار الكبيرة. وإذا كان الأمر كذلك، فإن كثيرا من الأقمار اللامنتظمة التي نراها اليوم هي جيل ثانٍ لأقمار سابقة.

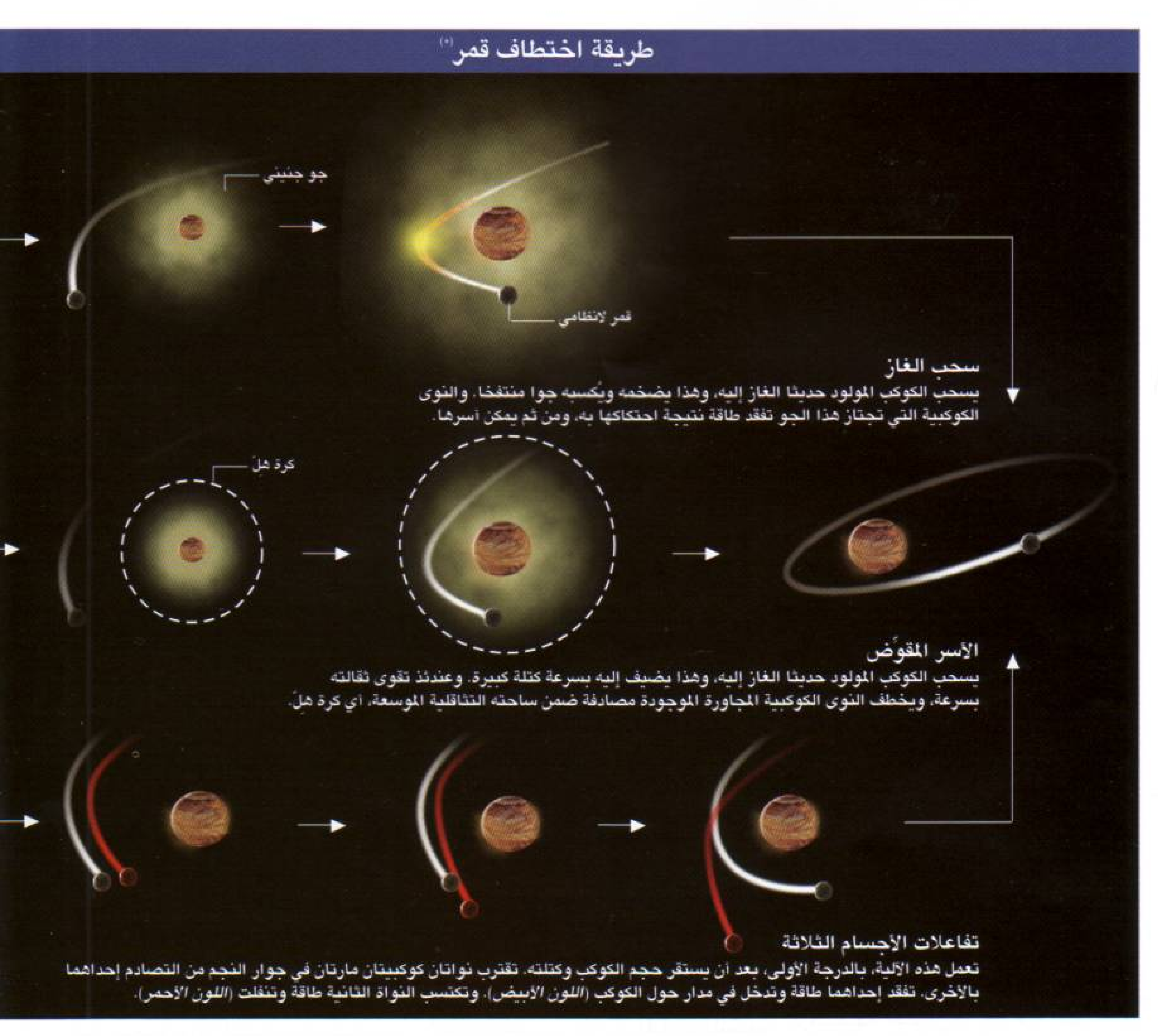
هذا وإن <D. نسفورني> [من مركز أبحاث ساوث وست في بولدر بكولورادو] ومعاونيه، نمذجوا بالتفصيل تمزق الأقمار إربا إربا نتيجة حوادث التصادم، ووجدوا أن من النادر في هذه الأيام أن يتصادم قمر بقمر آخر، أو بجسم **بين كوكبي** interplanetary، كأن يكون مذنبا مثلا. لذا فإن وجود زمر الأقمار يُلمح إلى زمن بعيد كانت فيه مجموعة الأقمار اللامنتظمة أو مجموعة المذنبات (أو كلتاهما) أكبر مما هي عليه حاليا، كما كان تكرار التصادمات أكبر بكثير.

لقد أنجز الفلكيون بعض التقدم في كشف خاصيات أخرى للأقمار اللامنتظمة، وذلك إضافة إلى تعلم أشياء جديدة عن مداراتها. فمعظم الأقمار خافتة الضوء إلى درجة لم تسمح للفلكيين إلا بمعرفة القليل جدا عن تركيبها. بيد أن <T. گراف> [من CfA] و<T. ريتيك> [من جامعة نوتردام] وجدا أن الأقمار المنتمية إلى زمرة ما غالبا ما تكون ذات ألوان متشابهة. واللون أحد مظاهر التركيب، لذا فإن هذا الاكتشاف يقتضي وجود تشابه في التركيب ـ وهذا يقدم مزيدا من الدعم إلى الفكرة القائلة بأن أقمار زمرة ما هي شظايا جسم أكبر ولّى وانقضى.

أحد الأقمار اللامنتظمة القليلة، الذي يعرفه الفلكيون بالتفصيل، هو قمر زحل فويب Phoebe، الذي زارته في الشهر 2004/6 السفينة الفضائية كاسّيني التي أطلقتها الوكالة ناسا. وقد حصلت كاسيني على صور ذات ميز عال جدا، بينت أن

(*) Cosmc Polyrythm
(1) in synchrony
(2) هي التغير البطيء في اتجاه محور دوران. (التحرير)

طريقة اختطاف قمر(*)



للفوهات التي تعلو سطح فويب وجودا كثيفا جدا. إضافة إلى ذلك، سجلت السفينة أطياف ضوء الشمس المنعكس عن فويب، التي بيّن تحليلها وجود جلائد من الماء وثنائي أكسيد الكربون. ولقمري نبتون اللامنتظمين نيريد Nereid وتريتون Triton، اللذين رصدهما المسبار الفضائي ڤويجر 2، سطحان جليديان أيضا. وتلمح هذه الجلائد إلى أن هذه الأجرام تكوّنت على مسافات بعيدة نسبيا عن الشمس، مثل المذنبات. أما أقمار المشتري اللامنتظمة فهي بسواد القارّ (الزفت)، وتبدو خالية من الجليد، وربما كان سبب ذلك كونها أقرب إلى الشمس، ومن ثم فهي أسخن من أن تسمح لوجود جليد مستقر عليها. وبهذا المعنى، تكون أقمار المشتري اللامنتظمة شديدة الشبه بالمذنبات التي فقدت مركّباتها من المواد الطيارة.

يا له من جَرٍّ عنيف(**)

توحي خاصيات الأقمار اللامنتظمة ـ وبخاصة مداراتها المتراجعة ـ أنها لم تتكون في الموقع الموجودة فيه. وبدلا من ذلك، فلابد أن تكون من مخلفات عمليات تكوّن الكواكب، مثل الكويكبات والمذنبات، التي كانت في الأصل تدور حول الشمس، ثم أسرتها الكواكب بطريقة ما. هذا وليس من السهل فهم كيف حدث ذلك. ففي التفاعل المعقد بين ثقالات الكواكب، تُجَرّ الكويكبات والمذنبات روتينيا إلى مدارات قصيرة العمر حول الكواكب العملاقة. وهذا الأسر الموقت شبيه بسحب أوراق الشجر إلى دوامة في يوم خريفي عاصف. فهذه الأوراق تدخل الدوامة، وتدور في حركة دوامية ربما بضع عشرات من المرات، ثم تنفصل عنها بطريقة لا يمكن التنبؤ بها.

وكأمثلة على هذا النمط من الأسر، نورد المذنب الشهير D/Shoemaker-Levy ("D" هو الحرف الأول من "defunct"، أي «ميت»)، الذي دخل في مدار مؤقت حول المشتري في وقت ما من القرن العشرين، ثم صدم هذا

(*) How to Snag a Moon
(**) What a Drag



تشير الخاصيات المدارية الغريبة للأقمار اللامنتظمة إلى أنها نشأت في مدارات حول الشمس، ثم أسرتها الكواكب المضيفة الحالية في وقت لاحق. وقد اقترح العلماء ثلاث آليات للأسر.
المرحلة الأولية في هذه الآليات الثلاث جميعها هي تكوّن أجسام بحجم الكويكبات، تسمى نوى كوكبية. ويتجمع كثير من هذه النوى لتكوين القلوب الصخرية للكواكب العملاقة. وتبقى مخلفاتها معرضة للأسر.

الكوكب عام 1994. ولو لم يحدث له موت في غير أوانه، لقُذف هذا المذنب بعيدا ليدخل في مدار حول الشمس خلال بضع مئات من السنين. ويعرف الفلكيون عدة أجسام أسرها المشتري مؤقتا، ثم عادت لتدور حول الشمس.

لكن لكي يتعرض جسم يسبح في مدار حول الشمس لأسر دائم في مدار مستقر حول كوكب ما، لابد من أن يفقد بعض طاقاته الابتدائية. من أجل ذلك، يتعين إبطاء سرعة الجسم لمنعه من الإفلات ثانية من الكوكب. هذا ولا وجود لأي عملية فعّالة لتبديد الطاقة في المنظومة الشمسية حاليا. لذا فإن أسر الأرض للقمر لابد أن يكون حدث قبل زمن طويل جدا، في وقت كان للمنظومة الشمسية فيه خاصيات مختلفة.

وفي السبعينات من القرن الماضي، اقترح المنظرون ثلاث آليات محتملة تعمل جميعها خلال حقبة تكوّن الكواكب أو بعدها مباشرة.

أما الآلية الأولى، التي اقترحها <J. P. بولاك> و<J. A. بيرنز> [اللذان كانا حينذاك يعملان في مركز أبحاث إيمز التابع للوكالة ناسا] و<M. E. توبر> [من جامعة كورنل] فتذهب إلى أن الأقمار فقدت طاقة بفعل الاحتكاك الذي حدث لها خلال عبورها الأجواء الشاسعة للكواكب البدائية العملاقة الغازية. فالمشتري وزحل، خلافا للأرض والكواكب الأرضية الأخرى، مكونان، في المقام الأول، من الهدروجين والهليوم.

والاحتمال الأكبر هو أنهما تكونا عندما سحب جسمٌ مركزي من الصخور والجليد، كتلته تعادل قرابة عشرة أمثال كتلة الأرض، كمياتٍ هائلة من الغاز من القرص البدائي المحيط بالشمس الفتية. وقبل أن يتخذ الكوكبان شكليهما الحديثين المتراصين نسبيا، فربما مرّا بمرحلة انتفاخ عابرة، كانت الأجواء خلالها تمتد مسافات أكبر مئات المرات من امتداداتها الحالية.

وفي طريقة گولديلوكس[1] الحقيقية، لابد أن يكون كويكب أو مذنب عابر لقي واحدا من ثلاثة مصائر مختلفة يحددها حجمه. فإن كان صغيرا جدا، احترق في الجو المنتفخ، مثلما يحدث للشهب. وإن كان كبيرا جدا، شق طريقه من دون أن يعيقه شيء، وتابع سيره في مدار حول الشمس. أما إذا كان معتدل الحجم، فإنه يتباطأ ويؤسر. وهذه العملية مماثلة تماما لإجراءات الكبح الهوائي، التي استعملها كثير من المسابير الكوكبية لدخولها في مدارات حول الكواكب.

تتمثل إحدى المشكلات التي يواجهها نموذج **السحب الغازي** gas-drag في أنه لا يفسر وجود سواتل لامنتظمة حول أورانوس ونپتون. هذان الكوكبان ليسا عملاقين غازيين، إنهما عملاقان جليديان - تغشاهما الصخور والجليد وطبقتان خارجيتان رقيقتان نسبيا من الهدروجين والهليوم. وبسبب بعدهما الشديد عن الشمس، والكثافة المادية المنخفضة في المناطق الخارجية من القرص المحيط بالشمس، فقد استغرق قلباهما زمنا أطول لبلوغ الكتلة الحرجة اللازمة لتعجيل حدوث انهيار غازي. وقبل أن يحدث ذلك، كانت الغيمة السديمية الشمسية قد تبددت كثيرا، لذا لم يتيسر قط لأورانوس ونپتون جوّان يحيطان بهما شبيهان بجوّي المشتري وزحل. تُرى، كيف يمكن للسحب الغازي العمل عند عدم توافر قدر كبير من الغاز؟

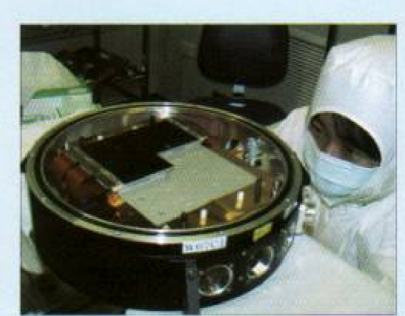
ويحدد الأسلوب الثاني أيضا أن وقت الأسر حدث خلال مرحلة نمو الكواكب. فلابد أن يكون تنامي الغاز على قلوب العمالقة الغازية جعل كتلها تتعاظم في عملية دعم ذاتي، وهذا يؤدي إلى زيادة مفاجئة في حجم كرة هلّ حول كل كوكب. وإن الكويكبات، وغيرها من الأجسام الأخرى، التي جانبها الحظ لكونها قريبة في لحظة

(1) Goldilochs

راصدو السماء(*)

لما كانت الأقمار اللامنتظمة سريعة الاندفاع وصغيرة جدا وخافتة الضوء، فإنها تقع ضمن أصعب الأجسام رصدا في النظام الشمسي. ويتطلب العثور عليها أقوى مقاريب المسح في العالم ـ أي آلات تمسح مناطق واسعة من السماء، بدلا من الآلات التي تركز على بقاع منفردة محدودة. وقد توصل فريقنا إلى معظم اكتشافاته باستعمال المقراب Canada-France-Hawaii Telescope والمقراب Subaru Telescope المقام على جبل ماوناكيا بجزر هاواي. وهذان المقرابان مجهزان بمكاشيف رقمية لكل منها أكثر من 100 مليون پكسل.

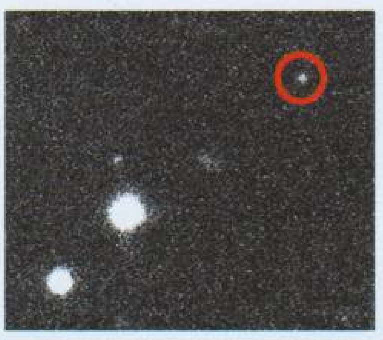
والمسألة المركزية هي تمييز الأجسام في المنظومة الشمسية عن النجوم والمجرات البعيدة. لهذا يستعمل الراصدون طريقتين، تُعنى أولاهما بقياس المسافة. ونحن نقارن ثلاث صور أُخذت للرقعة السماوية نفسها بحيث تفصل بين الصور فترة زمنية معينة. وخلال تلك الفترة، تقطع الأرض جزءا من مسارها حول الشمس، ما يجعل الأجسام تبدو أنها انزاحت من موقعها، وكلما كان الجسم أقرب، ازداد ظهور حركته.

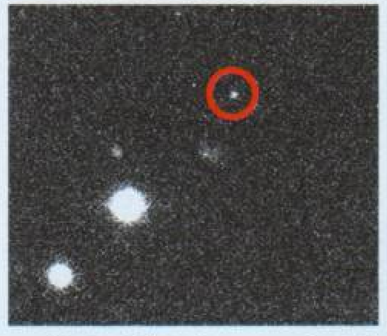


لمسح بقاع شاسعة من السماء، يُستعمل واحد من أفضل المكاشيف هو Subaru Prime Focus Camera، وهو مجموعة مكونة من 10 شيبات CCD لكل منها ثمانية ميكابكسل.

وتتضمن الطريقة الثانية قياسا للسرعة. وهنا نأخذ عشرات الصور لأحد الحقول، ونعالجها استنادا إلى السرعة المتوقعة المدارية للأقمار اللامنتظمة التي نبحث عنها، ثم نجمعها معا. وفي هذه الصورة المجمعة، تبدو نجوم الخلفية كعلامات خطية ضوئية، أما الأقمار اللامنتظمة فتبدو نقاطا ساطعة.

وبسبب استعمال هذه الطريقة عددا كبيرا من الصور لبقعة معينة من السماء، فهي أشد حساسية للأجسام الخافتة النور من الطريقة الأولى، لكنها تستغرق وقتا أطول لإجراء مسح كامل. وبغية التوثق من أن الأجسام هي أقمار لا كويكبات أو مذنبات، فنحن نراقبها عدة أشهر، ونعمل مع <B. مارسدن> من CfA للتحقق من أنها تدور حول كواكبها.





ثقب ضوئي صغير متحرك: اكتُشف ساتل المشتري S/2003 J14 في 2003/2/26 في هاتين الصورتين اللتين يفصل بين وقتي أخذهما 39 دقيقة. والأجسام الأخرى هي نجوم الخلفية. ولهذا القمر، الذي يُظن أن قطره كيلومتران تقريبا، مدار يبعد 13 مليون كيلومتر عن كوكبه العملاق.

هذا النمو الجاري بسرعة خاطفة، لابد أن تكون وجدت نفسها واقعة في شرك المد الواسع السريع لثقالة الكواكب. وكان أول من طرح فكرة آلية الأسر هذه <A. T. هيبنهايمر> و<C. بوركو> [اللذان كانا حينذاك في المعهد MIT]. وقد أطلقا على الآلية اسما، محيرا إلى حد ما، هو **الأسر المقوِّض** pull-down capture.

بيد أن لهذه الآلية، كما هي الحال في السحب الغازي، مشكلة في تعليل الأقمار حول أورانوس ونپتون، اللذين لم يتعرض أي منهما لنمو سريع جدا في كتلته. وتشير معظم النماذج إلى أن هذين الكوكبين تناميا ببطء عن طريق تجميعهما لأجسام بحجم الكويكبات والمذنبات خلال زمن ربما استغرق عشرات أو مئات من ملايين السنين لبلوغ كتلتيهما الحاليتين. وحتى المشتري وزحل، فقد تعين عليهما التنامي خلال آلاف السنين لجعل عملية الأسر المقوض ناجحة، لكن كثيرا من المنمذجين متضايقون من مثل هذا الزمن القصير للتنامي. وثمة نموذج بديل لتكون أورانوس ونپتون اقترحه <A. بوس> [من معهد كارنيكي بواشنطن] هو أنهما ابتدأ بضخامة المشتري وزحل، ثم تضاءلا تدريجيا بوساطة إشعاع مؤين من نجوم ضخمة قريبة. أما الأقمار اللانظامية ففهمها أصعب في هذا النموذج، لأن الكوكب الذي يتقلص غالبا ما يفقد أقماره بدلا من اختطافه لها.

وفي نموذجي السحب الغازي والأسر المقوض كليهما، جرى استحواذ أقمار لانظامية في مرحلة مبكرة من تاريخ المنظومة الشمسية، وربما كان ذلك قبل وصول الأرض إلى جسم يمكن تمييزه من غيره. وقد اقتُرِح سيناريو ثالث مغاير جدا عام 1971 من قبل <B. كولمبو> و<F. فرانكلين> [اللذين كانا يعملان حينذاك في CfA]. فقد ذهبا إلى أن الاصطدامات بين جسمين في كرة هلّ لكوكب ما، يمكن أن تبدد قدرا من الطاقة، وهذا يؤدي إلى أسر أحدهما. وقد لاقت هذه الفكرة، التي سُميت **أسر الأجسام الثلاثة** three-body capture، اهتماما قليلا نسبيا في السنوات الخمس والثلاثين الماضية، وربما كان ذلك يعود إلى الندرة الشديدة لهذه الاصطدامات حاليا.

بيد أن ثمة أبحاثا أحدث تبين أن لا ضرورة لحدوث اصطدامات. فلا تحتاج الأجسام الثلاثة إلا إلى أن تتفاعل تثاقليا. فإذا تبادلت طاقة فيما بينها، أمكن لأحدها كسب طاقة على حساب الجسمين الآخرين؛ وهذه العملية هي نموذج مضخم لمفعول المقلاع التثاقلي، الذي يستعمله مخططو البعثات الفضائية لتقوية دفع المسابير إلى أعماق الفضاء. وفي الشهر 2006/5، اقترح <C. أكنور> [من جامعة كاليفورنيا بسانتا كروز] و<D. هاملتون> [من جامعة ماريلند] صيغة أخرى لأسر الأجسام الثلاثة، مفادها أن جسما ثنائيا ينقسم إلى قسمين بفعل ثقالة كوكب، وهذا يؤدي إلى قذف أحدهما بعيدا، وسحب الآخر ليسير في مدار حول الكوكب.

(*) Watchers of the Skies

حركات كوكبية(*)

قد تكون آلية الأسر في الأجسام مثيرة في ضوء الاكتشاف الجديد، الذي يبين أن لجميع الكواكب العملاقة الأربعة توابع من الأقمار اللامنتظمة. وتنجح هذه الآلية في كل من **العملاقة الغازية** gas giants والعملاقة الجليدية. وهي لا تتطلب غلافا ضخما أو تناميا سريعا جدا للكواكب، وكل ما هي بحاجة إليه، عدد كاف من التصادمات التي تحدث قريبا من الكواكب. وربما كانت هذه الأنماط من التفاعلات هي الكبرى احتمالا قرب نهاية حقبة التكون الكوكبي، بعد أن تكون كرات هلّ قد نمت لتصل إلى حجومها الحالية، لكن قبل زوال الحطام المتخلف عن تكوّن الكواكب. وقد تكون الية أسر الأجسام الثلاثة قادرة على تفسير سبب امتلاك كل كوكب العدد نفسه من الأقمار اللامنتظمة: فمع أن أورانوس ونبتون أقل ضخامة من المشتري وزحل، فإنهما أبعد عن الشمس، ومن ثم فإن حجمي كرتي هلّ التابعتين لهما متقاربان.

وحتى لو فسرت تفاعلات الأجسام الثلاثة كيفية أسر الأقمار اللامنتظمة، فمن أين أتت هذه الأقمار؟ هنا قدم الباحثون احتمالين مختلفين. فقد تكون هذه الأقمار كويكبات ومذنبات تكتلت في المنطقة نفسها من النظام الشمسي التي يقع فيها الكوكب الذي اختطفها في نهاية المطاف، والتي إما اندمجت في أجسام الكواكب، أو أسرتها المنظومة الشمسية. وكانت الأقمار اللامنتظمة محظوظة، لأنها لم تُلتهم، ولم ترسل للطواف في الفضاء الواقع بين النجوم.

وثمة احتمال آخر يبرز من نموذج حديث ظلت بموجبه المنظومة الشمسية مليئة بالحطام طوال قرابة 700 مليون سنة بعد تكون الكواكب. وإذا ذاك أحدثت **التفاعلات التثاقلية** gravitational interactions القوية بين المشتري وزحل اهتزازات زلزلت المنظومة كلها. وقد تبعثرت بلايين من الكويكبات والمذنبات، عندما اندفعت الكواكب الكبيرة إلى مداراتها الحالية التي هي أكثر استقرارا. ومن المحتمل أن يكون جزء من الأجسام المبعثرة قد أسر. وفي هذا السيناريو، الذي اقترحه عام 2005 <K. تسيكانس> وزملاؤه [من مرصد كوت دازور] تكون معظم الأجسام التي تعرضت لتلك الاهتزازات، وظلت طليقة وراء نبتون في حزام كويبر [انظر: حزام كويبر، **العلوم**، العددان 11/12 (1996)، ص 52].

ولابد أن تصبح القياسات الطيفية قادرة في يوم من الأيام على اختبار هاتين الفرضيتين. فإذا كان للأقمار اللامنتظمة للكواكب المختلفة تراكيب مختلفة، كان هذا دعما للفرضية الأولى، التي تكونت بموجبها الأقمار قرب كواكبها المضيفة. أما إذا كان لها تراكيب متشابهة، فإن هذا يقدم حجة على صحة الفرضية الثانية، التي تذهب إلى أن جميع الأقمار تكونت معا ثم تشتت. وهكذا فالأقمار يمكن أن تُبين ما إذا كانت المنظومة الشمسية قد خضعت لإعادة ترتيب عنيف.

إن استكشاف أنظمة الأقمار اللامنتظمة مازال جاريا على قدم وساق. وثمة شيئان واضحان: أولهما أن أسر هذه الأقمار لابد أن يكون قد حدث في وقت مبكر من تاريخ المنظومة الشمسية، إما خلال عملية التكون الكوكبي، وإما عقب تكون المنظومة مباشرة. هذا ولا تقدم المنظومة الشمسية الحديثة آلية ملائمة يؤدي عملها إلى أسر الأقمار. وثانيهما أن التشابهات القائمة بين مجموعات الأقمار اللامنتظمة لجميع الكواكب الخارجية الأربعة، توحي بأنها نشأت نتيجة تفاعلات الأجسام الثلاثة، وهي الآلية الوحيدة المعروفة التي فاعليتها في نبتون تعادل تقريبا فاعليتها في المشتري. وكما تساعدنا علامات الانزلاق، التي ترتسم على طريق بعد حادث سير، على تعرف كيفية حصول الحادث، فإن الأقمار اللامنتظمة، التي تطوف حول الكواكب العملاقة، تزودنا بمفاتيح لحل ألغاز تتعلق بأحداث سابقة لم يتسن لنا قط رصدها مباشرة. ■



لقد اربك تريتون، قمر نبتون وأكبر قمر لامنتظم، العلماء منذ اكتشافه عام 1846. ويذهب بحث جديد إلى انه كان، مع رفيق له، يدوران حول الشمس قريبين أحدهما من الآخر، وكأنهما متعانقان، إلى أن فصل نبتون بينهما، واحتفظ بتريتون قمرا له.

(*) Planetary Movements

المؤلفون

David Jewitt - Scott S. Sheppard - Jan Kleyna

هم أغزر الباحثين العلميين في العالم إنتاجا في مجال اكتشاف الأقمار الكوكبية. وقد بدأت اهتمامات <جيويت> بعلم الفلك عندما كان في السابعة من عمره، حين أصيب بالدهشة لما رأى وابلا من الشهب في سماء المنطقة الصناعية شمال لندن المضاءة بمصابيح الصوديوم. وهو حاليا أستاذ في جامعة هاواي وزميل أكاديمية العلوم الوطنية. أما <شيبارد> الذي كان يشرف عليه <جيويت> عندما كان يتابع دراساته العليا، فقد أصبح حديثا، بعد حصوله على الدكتوراه، عضوا في قسم المغنطيسية الأرضية بمعهد كارنيگي في واشنطن. وقد ترعرع <كلينا> في مزرعة بولاية مين، وهو من هواة فن سينمائي غير مفهوم يسمى art-house، ويجري حاليا أبحاث ما بعد الدكتوراه في جامعة هاواي، حيث تتركز دراساته على ***المادة العاتمة*** *dark matter* ***والمجرات القزمة*** *dwarf galaxies.*

مراجع للاستزادة

The Discovery of Faint Irregular Satellites of Uranus. J. J. Kavelaars et al. in *Icarus*, Vol. 169, No. 2, pages 474–481; June 2004.

Discovery of Five Irregular Moons of Neptune. Matthew J. Holman et al. in *Nature*, Vol. 430, pages 865–867; August 19, 2004.

Photometry of Irregular Satellites of Uranus and Neptune. Tommy Grav, Matthew J. Holman and Wesley C. Fraser in *Astrophysical Journal*, Vol. 613, No. 1, pages L77–L80; September 2004. Available online at **arxiv.org/abs/astro-ph/0405605**

Irregular Satellites in the Context of Giant Planet Formation. David Jewitt and Scott Sheppard in *Space Science Reviews*, Vol. 116, Nos. 1–2, pages 441–456; January 2005.

Cassini Imaging Science: Initial Results on Phoebe and Iapetus. C. C. Porco et al. in *Science*, Vol. 307, pages 1237–1242; February 25, 2005.

Neptune's Capture of Its Moon Triton in a Binary-Planet Gravitational Encounter. Craig B. Agnor and Douglas P. Hamilton in *Nature*, Vol. 441, pages 192–194; May 11, 2006.

Hawaii Irregular Satellite Survey Web site: **www.ifa.hawaii.edu/~jewitt/irregulars.html**

Scientific American, August 2006

ما يثير الاستغراب عند المشبك المناعي(*)

تكشف صور الخلايا المناعية أثناء التفاعل فيما بينها، عن وجود روابط(1) بنيوية تشبه تلك التي تستخدمها العصبونات للاتصال فيما بينها. وتقدم دراسة هذه المشابك(2) استبصارات جديدة عن كيفية قيام الخلايا المناعية بتكوين شبكة لتبادل المعلومات فيما بينها من أجل مقاومة الأمراض.

<M .D. ديفيز>

يعرف هواة الكتب الهزلية جيدا أن أكثر الطبعات توزيعا ورواجا هي تلك التي يظهر فيها أول مرة بطل خارق فائق القدرات. فعلى سبيل المثال، بيع حديثا في المزاد العلني الكتاب الهزلي الذي نشر في عام 1962 وظهر فيه الرجل العنكبوت أول مرة، بمبلغ 000 122 دولار أمريكي. ومن المحزن ألا تنال ـ في العادة ـ المطبوعات التي تعلن ظهور حقيقة علمية مهمة أول مرة أثمانا مماثلة، مع أن هذه المطبوعات الرائدة لها قيمة عظيمة لدى العلماء، حيث تثير في نفوسهم قدرا كبيرا من الإعزاز والتقدير.

وقد كانت هناك لحظة مماثلة عام 1995 عندما وقف <A .E. كوبفر> [من المركز الطبي والبحثي اليهودي الوطني في دنڤر] أمام بضع مئات من علماء المناعة الذي كانوا قد تجمعوا في واحدة من ندوات كيستون القيمة التي تحمل اسم هذا المنتجع الخاص بالتزحلق على الجليد بالولايات المتحدة الأمريكية. وقد تضمن عرض <كوبفر> أول صورة ثلاثية الأبعاد لخلايا مناعية تتفاعل فيما بينها. وشاهد المجتمعون في صمت مذهل ما عرضه <كوبفر> صورة تلو أخرى لبروتينات انتظمت على هيئة عين الثور عند نقط التماس بين الخلايا.

وقد استوعب الحاضرون هذه الصور في الحال من دون أي التباس: على شاكلة المشابك التي تُكوِّن نقاط الاتصال الحرجة بين العصبونات في شبكات الاتصال العصبي، فإن نقاط التماس بين الخلايا المناعية اشتملت على تكدسات مرتبة من البروتينات. وكان واضحا للعيان وجود أطواق من الجزيئات تبقى على الخلايا ملتصق بعضها ببعض، وكذلك وجود عناقيد داخلية من البروتينات المتفاعل بعضها مع بعض وتخص التحاور بين الخلايا.

لقد سبق قبل الآن طرح فكرة أن الخلايا المناعية التي يجب أن تتبادل المعلومات فيما بينها وتخزنها أثناء سيرها للبحث عن المرض والاستجابة له، ربما تشترك مع الموصلات الشديدة البراعة ـ ألا وهي خلايا الجهاز العصبي ـ في بعض الآليات. ولكن هنا أقيم الدليل الذي يثبت وجود التراكيب التي تتفق مع النظرية. وما إن فرغ <كوبفر> من عرضه حتى دوت القاعة بتصفيق مطوّل تبعه وابل من الأسئلة.

وبعد ذلك بعقد من الزمن لاتزال هذه المشابك التركيبية التي تكونها الخلايا المناعية تثير أسئلة حول الكيفية التي تنتج بها الآلة الخلوية أو غيرها من القوى البنيان المشبكي، ومن ثم الكيفية التي يتسنى بها للبنيان المشبكي بدوره أن ينظم الاتصال بين خلية وأخرى. وكذلك كيف يمكن أن يؤدي خلله الوظيفي إلى الإصابة بالمرض، وحتى كيف يمكن للمُمْرِضات أن تستغل تلك الآلية لصالحها.

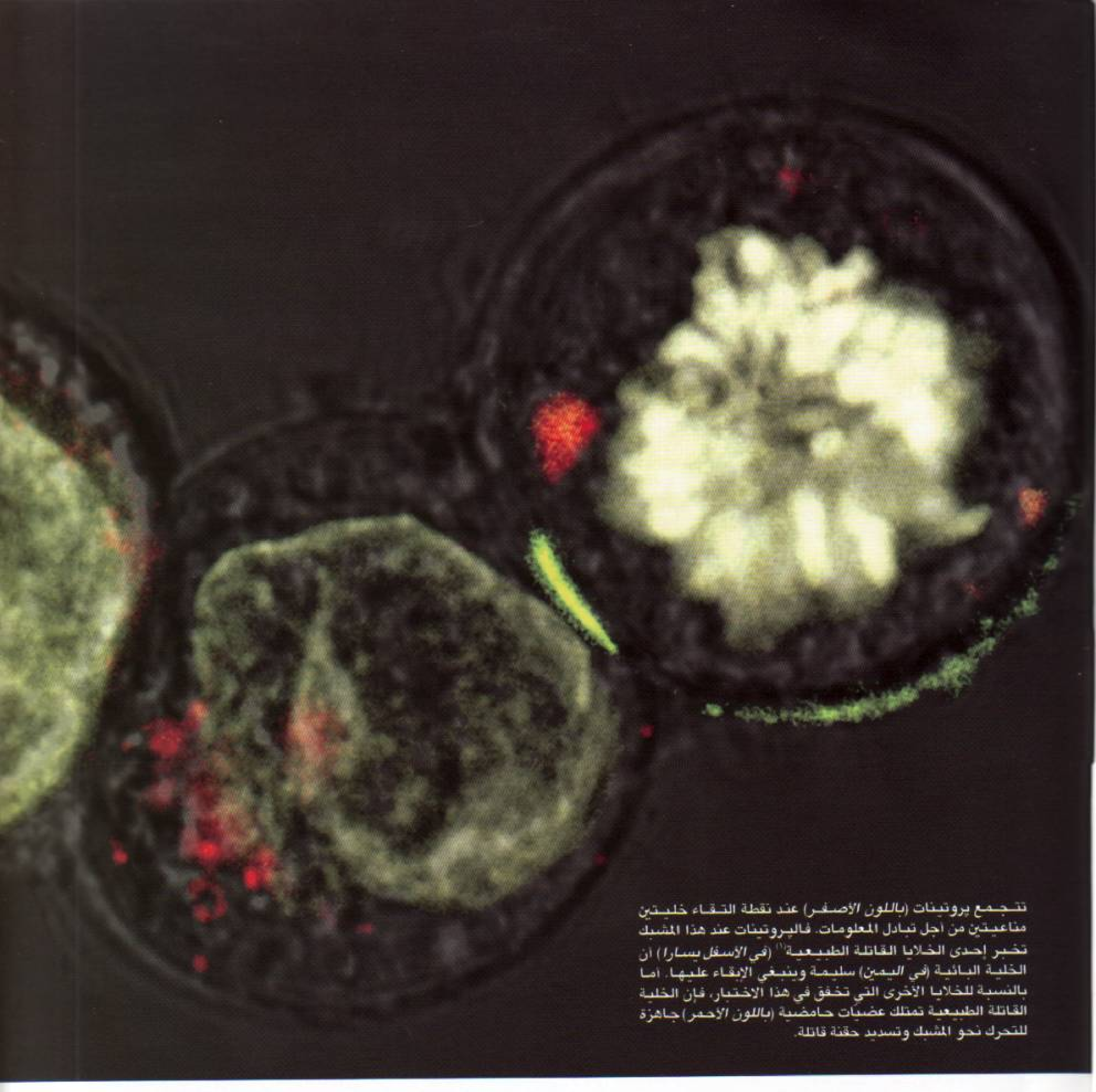
لقد أمكن اكتشاف المشبك المناعي وأمكن متابعة استكشافه بفضل التقنيات المجهرية ذات الميز العالي(3) وتحسن طرق التصوير القديمة باستعمال الحاسوب. ولما كنا أدركنا أمورا ـ مثل التفكير في فكرة ما، أو الإحساس بلمسة ما، واكتشاف ڤيروس ما في مجرى الدم ـ تتطلب جميعها اهتزازات (رقصات)(4) مماثلة للجزيئات، فإن هذا الإدراك قد زودنا بإطار جديد لفهم المناعة.

بحث عن اتجاه(**)

منذ وقت طويل وقبل رؤية المشبك المناعي، كان واضحا احتمال أن تقدر الخلايا المناعية على تحقيق الاتصال فيما بينها. فقد عرف العلماء أن الخلايا المناعية تفرز جزيئات بروتينية تسمى السيتوكينات لتتبادل المعلومات فيما بينها، ومع أنماط أخرى من الخلايا. ولكن بعض تلك الجزيئات على الأقل لا يعمل على ما يبدو كهرمونات تنتشر في أرجاء الجسم المختلفة باثة رسالتها على نطاق واسع. وبخلاف ذلك فإن السيتوكينات لا تكتشف في الدم، ويبدو أن عملها يقتصر على الخلايا المتماسة فقط.

وهذه القدرة على تبادل الإشارات الكيميائية مع خلية مجاورة محددة فقط دون غيرها أمر مهم بالنسبة للخلايا المناعية. فبخلاف العصبونات التي تميل إلى تكوين نقاط اتصال ثابتة وطويلة الأمد مع الخلايا الأخرى، تقيم الخلايا المناعية مع غيرها

(*) INTRIGUE AT THE IMMUNE SYNAPSE
(**) Seeking Direction
(1) connections أو وصلات.
(2) synapses، *انظر شرح الشكل في الصفحة 15.*
(3) high-resolution microscopy techniques
(4) choreography



تتجمع بروتينات (*باللون الأصفر*) عند نقطة التقاء خليتين مناعيتين من أجل تبادل المعلومات. فالبروتينات عند هذا المشبك تخبر إحدى الخلايا القاتلة الطبيعية[1] (*في الأسفل يسارا*) أن الخلية البانية (*في اليمين*) سليمة وينبغي الإبقاء عليها. أما بالنسبة للخلايا الأخرى التي تخفق في هذا الاختبار، فإن الخلية القاتلة الطبيعية تمتلك عضيات حامضية (*باللون الأحمر*) جاهزة للتحرك نحو المشبك وتسديد حقنة قاتلة.

تماسات سريعة الزوال أثناء تجوالها الدؤوب في الجسم بحثا عن علامات للمرض وتبادلا للمعلومات حول الأخطار الراهنة. فحينما تصادف خلية مناعية ما مكلّفة بتعرّف المرض خليةً أخرى، فقد لا يكون أمامها سوى دقيقتين لتقرير فيما إذا كانت هذه الخلية المستهدَفة سليمة أو لا. فإذا كانت غير سليمة فقد تلجأ الخلية المناعية ـ بحسب نوعها ـ إلى قتل الخلية المريضة مباشرة، أو إلى إطلاق إنذار استدعاء لجنود مناعيين آخرين للحضور وإتمام المهمة. وقد يؤدي خطأ في الاتصال إلى جعل الخلايا المناعية تقتل خلايا سليمة بطريق الخطأ، مثلما يحدث في أمراض المناعة الذاتية ومنها داء التصلب المتعدد، أو قد يؤدي إلى السماح للخلايا السرطانية بالاستمرار في النمو والتكاثر من دون ضابط. ولذلك فإن علماء المناعة لديهم اهتمام شديد، ليس فقط باكتشاف ما هي الجزيئات المشتركة في هذه الحوارات، ولكن أيضا بكيفية تفاعلها لتتمكن من اتخاذ مثل تلك القرارات الحاسمة.

في أوائل ثمانينات القرن الماضي، شرح العلماء في مختبر علم المناعة التابع للمعاهد الوطنية للصحة في الولايات المتحدة فكرةَ وجود سطح بنيوي فاصل يمكن للخلايا المناعية من توجيه ما تفرزه سيتوكينات إلى خلية أخرى. ولما كانت الأغشية الخلوية ـ المكوَّنة إلى حد كبير من جزيئات دهنية

(1) natural killer (NK) cell

وبروتينية - هي أغشية سائلة، فإن البروتينات يمكنها بالتأكيد أن تتحرك بسهولة إلى نقطة التماس بين خليتين لتكوّن بنيانا منتظما هناك على غرار ما يحدث عندما تنشئ العصبونات وَصْلة مع خلية أخرى.

لقد انبثقت فرضية مجموعة المعاهد الوطنية للصحة نتيجة تجارب حاسمة أظهرت أن تكدّس وتعنقد بعض البروتينات النوعية معا عند سطح الخلايا المناعية المسماة الخلايا التائية كان كافيا ليثير تنشيط تلك الخلايا. وفي نشرة علمية ظهرت في عام 1984، بيّن ‹M. A. نوركروس› [أحد باحثي المعاهد الوطنية للصحة] أول مرة الخلايا التائية بإضافة أحد المنبهات إلى المحلول الموجود على أحد جانبي الغشاء فقط: فبدأت تلك الخلايا بإفراز بروتينات نحو مصدر المنبه وليس نحو المحلول الخالي من المنبه على الجانب الآخر من الغشاء.

وفي عام 1994، شجعت هذه الملاحظة الأساسية ‹W. A. بول› و ‹R. A. سيدر› [الباحثين في المعاهد الوطنية للصحة] على إحياء فكرة كون المشبك المناعي رابط اتصال بين الخلايا المناعية وغيرها من الخلايا. وقد وصفا هذا المشبك بأنه سطحان خلويّان متقاربان تقاربا وثيقا ومزوّدان بتنظيم مرتب الفيروسات على سبيل المثال؛ ثم عرض شدف (كسرات) هذه البروتينات على الخلايا التائية، التي تنشط بدورها حينما تتعرف أحد المستضدات. ومن ثم أطلق ‹كوبفر› مصطلح عناقيد التنشيط فوق الجزيئية[3] على الجزيئات البروتينية ذات نسق عين الثور التي تتكون عند السطح الفاصل للخليتين.

وكذلك أجرى ‹M. دستي› و ‹P. ألين› و‹A. شو› [من كلية طب جامعة واشنطن في سانت لويس] ومعهم ‹M. ديفز› [من جامعة ستانفورد] كل على حدة، تصويرا لظاهرة تنشيط الخلية التائية ولكن بوسيلة مثيرة

وأخيرا، وجدت تراكيب توافق النظرية.

بشكل رسمي إمكانية أن يكون للجهازين العصبي والمناعي آلية مشتركة للاتصال من خلال المشابك. ولكن لسوء الحظ ظهرت هذه النشرة العلمية في مجلة غير مقروءة على نطاق واسع، وحُذف منها بعض التفاصيل، ولذلك سرعان ما تعرض ذلك النموذج المشبكي المبكر للاتصال بين الخلايا للنسيان. ومع هذا بقي الفضول وحب الاستطلاع فيما يتعلق بإمكانية أن توجه الخلايا التائية رسائل من عدمه وكيفية قيامها بذلك.

وفي عام 1988 أجرى الراحل ‹Ch. A. جانواي، جونير› وزملاؤه [في جامعة ييل] تجربة جميلة تؤكد أن الخلايا المناعية يمكنها بالفعل أن تفرز البروتينات في اتجاه معين. فقد قاموا بتثبيت بعض الخلايا التائية تثبيتا محكما داخل مسام غشاء يوجد في فجوة تحتوي على محلول وتقسمها إلى جزأين، ثم قاموا بتنشيط مكون من مستقبلات بروتينية على سطح إحدى الخليتين يقابلها على سطح الخلية الأخرى الملامسة لها التركيب المربوط معها. ولما كانت الخلايا المناعية تتجول أكثر من العصبونات بكثير، فقد تحدث ‹بول› عن المشبك المناعي على أنه اتحاد «وصل وقطع»[1] على النقيض من حال الروابط (الوصلات) العصبونية الطويلة الأمد.

وهكذا في منتصف التسعينات من القرن الماضي استقر مفهوم المشبك المناعي كتصور مثير، ولكن مازالت هناك حاجة إلى رؤيته عن طريق التجارب كتركيب حي. وبعد ذلك عرض ‹A. كوبفر› مجموعة شرائحه في ندوة كيستون، حيث أظهرت صوره التفاعلات بين خلايا مناعية تسمى الخلايا العارضة (المقدمة) للمستضد[2] والتي تخصصت في تفتيت بروتينات العنصر المعتدي، مثل للاهتمام. فبدلا من مراقبة خليتين متفاعلتين معا، لجؤوا إلى الاستعاضة عن الخلية العارضة للمستضد بغشاء بديل مؤلف من جزيئات دهنية مستخلصة من خلية حقيقية جرى تسطيحها على شريحة زجاجية؛ ثم أضافوا إلى هذا الغشاء الدهني المسنود إلى الزجاج البروتينات الرئيسية الموجودة عادة على سطح الخلايا العارضة للمستضد والتي صُبغ كل منها بصبغ متألق مختلف اللون[4]؛ ثم قاموا بعد ذلك بمراقبة تنظيم هذه البروتينات الموسومة أثناء هبوط الخلايا التائية على الغشاء (*انظر الشكل العلوي في الصفحة 16*).

وكذلك شاهدت مجموعة ‹داستن› ظهور نسق البروتينات على شكل عين الثور حينما كانت الخلايا التائية تقوم بمعاينة للبروتينات داخل الغشاء المسنود على الزجاج، وكان من الواضح أن المشبك البنيوي لم يكن يتطلب تضافر جهود خليتين، وإنما يمكنه أن يتكون وإحدى الخلايا المناعية تتماس مع مجموعة صنعية من البروتينات وتستجيب لها.

وقد كشف هذا العمل أيضا أن المشبك نفسه يتصف بالديناميكية[5]: يتغير ترتيب البروتينات مع استمرار الاتصال بين

نظرة إجمالية/ الحوار المنسَّق(*)

- كشفت صور المجهر العالي الميز لخلايا مناعية وهي تتلامس مع خلايا أخرى عن وجود تراكيب غشائية مؤقتة شبيهة بالروابط (الوصلات) المشبكية التي تقيمها الخلايا العصبية بعضها مع بعض للاتصال فيما بينها.
- إن الاستقصاءات لهذه المشابك الخلوية المناعية تركز على الآليات التي يمكن أن تتحكم في هيئتها وكيفية تعديلها للاتصال بين الخلايا.
- تعد مشاهدة التفاعلات بين الخلايا المناعية المنفردة في وقت حدوثها الحقيقي وسيلة جديدة لفهم كيفية مشاركتها ومعالجتها للمعلومات من أجل الدفاع عن الجسم ضد الأمراض.

(*) Overview/ The Structured Dialogue
(1) "make and break" union
(2) antigen-presenting cells (APCs)
(3) supramolecular activation clusters
(4) different colored fluorescent dye
(5) أي يتميز بتغير مستمر.

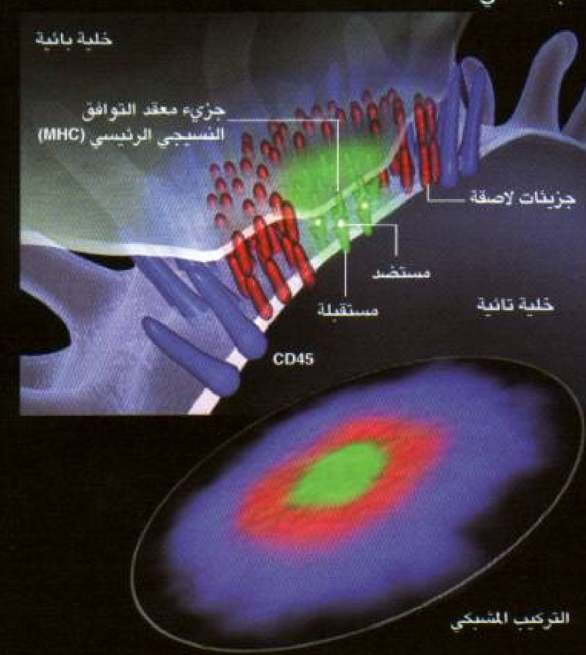
المشابك عن قرب(*)

إن المشبك ـ الذي اشتق اسمه باللغة الإنكليزية من كلمتين إغريقيتين تعنيان «التلاصق معا» و«إحكام الربط» ـ هو نقطة التماس التي تتبادل عندها خليتان إشارات جزيئية وتكونان في الأغلب مرتبطتين فيزيائيا إحداهما بالأخرى بواسطة بروتينات رابطة. وعادة ما تكون هذه الروابط طويلة الأمد بين العصبونات فيما تقيم الخلايا المناعية روابط مؤقتة من أجل حوارات سريعة. ويمكن أن تتنوع أشكال المشبك المناعي بحسب نمط الخلية. ويسير تكون تلك المشابك المناعية في مراحل، وهذا يمكنها كذلك من تنظيم الحديث بين الخلايا.

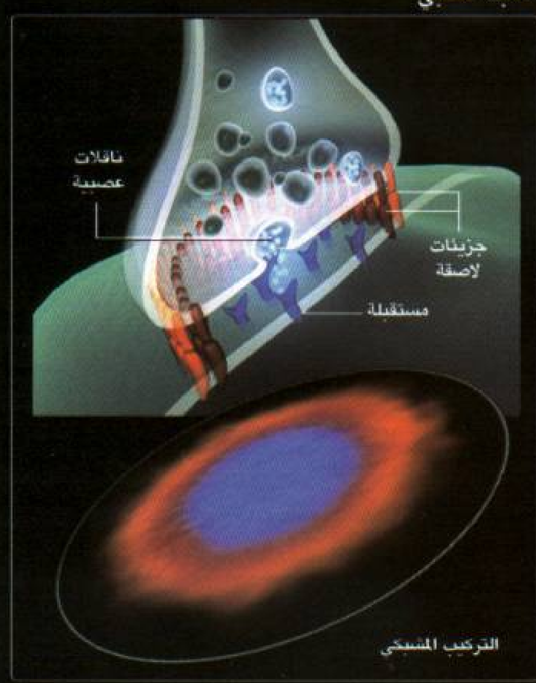
أوجه الشبه بين المشابك

في المشبك التقليدي بين عصبونين تمسك البروتينات اللاصقة غشاءي الخليتين المتفاعلتين معا وتجعلهما ملتصقين التصاقا وثيقا. وعندما يُنبَّه العصبون الأول تتحرك رزم من الجزيئات الناقلة للإشارات (وتدعى الناقلات العصبية) نحو الغشاء لتطلق محتوياتها التي ترتحل إلى المستقبلات الموجودة على العصبون الآخر. كما تمسك الجزيئات اللاصقة الموجودة بالمشبك الغشاءين الخلويين وتجعلهما متلاصقين تلاصقا وثيقا، فيما تتفاعل معا أنواع أخرى من البروتين. وفي هذا المثال تعرض جزيئات معقد التوافق النسيجي الرئيسي[1] الموجودة على الخلية البائية شدفا (كسرات) بروتينية تدعى المستضدات أمام مستقبلات الخلية التائية[2]. وتنتقل البروتينات التي تدعى CD45، وهي عادة ما تثبط الإشارات، بعيدا إلى محيط المشبك. وعندما نرى التراكيب المشبكية وكأننا ننظر إليها من داخل إحدى الخليتين، فسوف نجد أنها تشبه نسق عين الثور.

مشبك مناعي

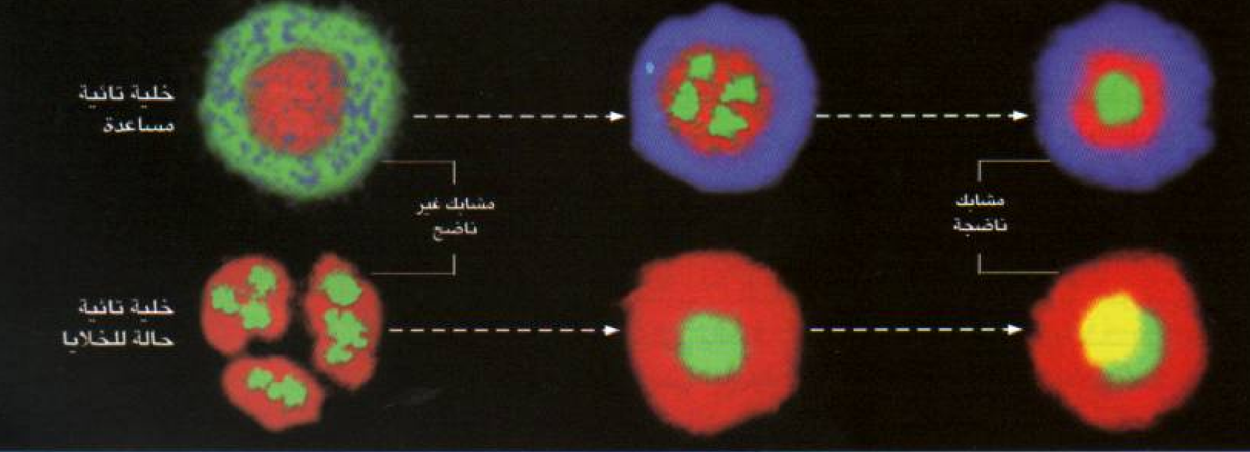


مشبك عصبي



تطور ديناميكي (حركي)

يبتدىء تكون مشبك «الخلية التائية المساعدة» بتجمع وتعنقد الجزيئات اللاصقة (*باللون الأحمر*) عند مركزه والمستقبلات (*باللون الأخضر*) على شكل حلقة خارجية. وهذا الترتيب سوف ينعكس في المشبك الناضج، بحيث تشكل بروتينات CD45 (*باللون الأزرق*) الحلقة الخارجية القصوى. وهناك نمط آخر من الخلايا المناعية، وهو الخلية التائية «الحالة للخلايا»[3]، مسؤول عن قتل الخلايا غير السليمة. فحينما يصادف هذا النوع خلية غير سليمة، تبدأ مستقبلاته وبروتيناته اللاصقة تتجمع ثم تشكل حلقة. وأخيرا، تنتقل حبيبات تحتوي على جزيئات سامة (*باللون الأصفر*) من داخل الخلية إلى مركز المشبك لإطلاق حمولتها القاتلة. ويرغب الباحثون في معرفة الدور الذي يمكن أن تؤديه مراحل تكوين المشبك هذه في تنظيم الاتصال بين الخلايا المناعية.



(*) Synapses UP Close
(1) major histocompatibility complex (MHC)
(2) T cell's receptors
(3) cytolytic T cell

0.5 دقيقة | 1.5 | 3 | 5 | 10 | 30 | 60

في واحـدة من تجارب التـصوير المبكرة لاستكشاف تركيب المشبك المناعي، استخدم <M. دستن> وزملاؤه بروتينات موسومة وسما متألقا (وميضا) داخل غشاء خلوي صنعي. واتخذت تلك البروتينات تكوينا (تشكيلا) مشبكيا عندما بدأت خلية تائية غير مرئية في الجانب المقابل من هذا الغشاء تتفاعل معها. أولا تكون البروتينات الحاملة للجزيء الشبيه بالمستضد (*باللون الأخضر*) حلقة خارجية وتتجمع الجزيئات اللاصقة (*باللون الأحمر*) عند المركز. وعلى مدى ستين دقيقة ينعكس هذا الترتيب محاكيا مراحل التفاعل بين الخلية التائية والخلية الحقيقية العارضة للمستضد في المشبك المناعي.

الخلايا. فعلى سبيل المثال، شوهدت أول مرة مستقبلات الخلية التائية أثناء تفاعلها مع المستضد وهي تتراكم أولا في حلقة تحيط بعنقود (تجمع) مركزي من البروتينات اللاصقة مكونة بذلك مشبكا خلويا غير ناضج للخلية التائية. وفي مرحلة لاحقة انعكس وضع هذه البنية بحيث كونت الجزيئات اللاصقة في المشبك الناضج حلقة خارجية من عين الثور وأحاطت بعنقود داخلي من مستقبلات الخلية التائية المتفاعلة.

ومنذ أن نشر <كوبفر> و<داستن> صورهما الأولية لمشبك الخلية التائية، شوهدت كذلك مجموعة متنوعة من النسق البنيوية المشبكية بين أنماط أخرى من الخلايا المناعية. وفي الواقع، كان إسهامي الخاص أثناء عملي مع <J. سترومنجر> [من جامعة هارفرد] في عام 1999 هو مشاهدة مشبك بنيوي يكونه نوع مختلف من خلايا الدم البيض يعرف باسم الخلية القاتلة الطبيعية (بالفطرة). وقد أفاد هذا الإسهام في تأكيد عمومية مشاهداتهما. ويُعَدُّ استكشاف كيفية حدوث مثل هذه الترتيبات المتغيرة للجزيئات وكذلك كيفية تحكمها في الاتصالات بين الخلايا هو العلم الجديد الذي أتاحه مفهوم المشبك المناعي.

كشف غموض شفرة الرقص(*)

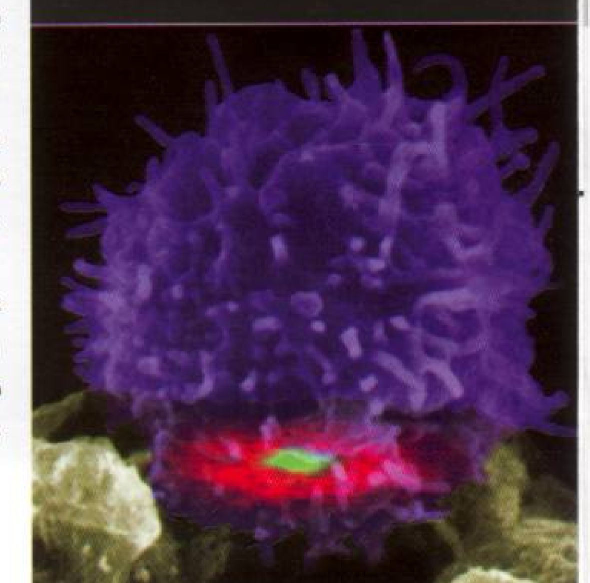
على الفور أدت مشاهدات بنية المشابك المناعية إلى تحفيز الباحثين على استكشاف السبب الذي جعل البروتينات الخلوية تتحرك إلى نقاط التماس بين الخلايا وتنظم نفسها في أنساق معينة. إحدى ناقلات (موجهات) تحركات البروتينات في جميع الخلايا هي شبكة لافتة للنظر من الخيوط المهمة تسمى الهيكل الخلوي الذي يتألف من سلاسل طويلة من البروتينات تستطيع التمدد والانكماش من حيث الطول. ولما كان هذا الهيكل الخلوي مثبتا ومشدودا إلى سطح الخلية بوساطة بروتينات موجهة، فهو يستطيع دفع الغشاء الخلوي أو جذبه، فتتمكن بذلك العضلات من التقلص **والنطاف** sperms من السباحة.

لقد أظهرت التجارب أنه عندما يتم تعطيل الهيكل الخلوي بالذيفانات (التوكسينات) تصبح بعض البروتينات غير قادرة على التحرك نحو المشبك المناعي، وهذا يوحي بأن حركات خيوط الهيكل الخلوي تسمح للخلايا بأن تتحكم في مكان تكدس البروتينات عند المشبك وزمنه.

هناك على الأقل آليتان أخريان يمكنهما أن تؤديا دورا في تنظيم البروتينات عند المشبك، ولكن مدى تأثيرهما في الاتصال بين الخلايا المناعية يظل مثيرا للجدل. وهناك مجموعة من المقترحات تفترض وجود منصات صغيرة مؤلفة من بضعة جزيئات بروتينية يمكن أن يتكدس كل منها في الأغشية الخلوية، وتستطيع أن تتحرك حول سطح الخلية على الأرجح بمساعدة الهيكل الخلوي. وحينما تتجمع هذه «الطوّافات» الجزيئية[2] في المشبك مع البروتينات المستقبلة الرئيسية التي تكتشف المرض في خلية مقابلة، فإن التفاعل بينها يمكن أن يكون سبب تنشيط الخلية المناعية. ولكن هذه المنصّات الموجودة سابقا هي محل نزاع، لأنها أصغر من أن تُرى مباشرة بوساطة المجهر الضوئي، ومن ثم يكون الدليل على وجودها غير مباشر نوعا ما.

وهناك احتمال آخر مثير للاهتمام وعليه أدلة مباشرة وغير مباشرة. ويتمثل هذا الاحتمال في أن الحجم الفيزيائي لكل نوع من البروتينات المكونة للمشبك يمكن أن يؤدي دورا مهما في تحديد وجهة سيره عندما تتلامس الخلايا. فحينما ترتبط البروتينات الموجودة على خلية ما بنظائرها على الخلية المقابلة، يتقارب الغشاءان الخلويان أحدهما من الآخر، وتتطابق الفجوة المتبقية بينهما مع حجم البروتينات المترابطة. وهكذا تستطيع الكداسة المركزية المكونة من بروتينات صغيرة أن تقرب الغشاءين بقدر يكفي لعصر البروتينات الأكبر حجما وطردها.

تتصل الخلايا المناعية لتبادل المعلومات، ويترتب على هذا أن تصبح الخلية التائية (*باللون الأزرق*) نشطة إذا ما تعرّفت مستضدا تعرضه أمامها الخلية التغصنية[1] الأكبر منها حجما (*باللون الذهبي*). ففي هذه الصورة المجهرية الإلكترونية المندمجة مع صورة متألقة (وميضة) لخلية حية، ترى مستقبلات الخلية التائية المتفاعلة مع المستضد وهي تتجمع عند مركز المشبك (*باللون الأخضر*)، وحلقة مكونة من جزيئات لاصقة (*باللون القرمزي*) وهي تمسك بالخليتين معا.



(*) Deciphering the Dance
(1) dendritic cell
(2) molecular rafts

ومن ثم عزل أنماط مختلفة من البروتينات في مناطق مختلفة من المشبك.

لقد استخدم ‹A. شكرابورتي› وزملاؤه [من جامعة كاليفورنيا في بركلي] نموذجا رياضياتيا لاختبار هذه الفكرة بتقييم نتيجة تفاعل بروتينات مختلفة الأحجام عبر غشاءي خليتين متقابلتين. ومع أن ‹شكرابورتي› ليس متخصصا بعلم المناعة، فقد أوضح وهو المتخصص بالرياضيات أنه أصبح مفتونا بالنسق الحيِّزية (المكانية) التي تأسر الألباب والتي يمكن أن تكونها خلاياه المناعية عندما يصاب بالإنفلونزا. وترجح تحليلات مجموعته البحثية أن اختلاف الحجم بين البروتينات قد يكون كافيا بالفعل لجعل البروتينات الكبيرة والصغيرة تتجمع في مناطق منفصلة من المشبك المناعي.

وبالطبع يريد المتخصصون في علم المناعة أن يعرفوا كذلك ما الذي تعنيه هذه التحركات البروتينية في سياق الكلام عن الاتصال بين الخلايا المناعية، إن كان لها أي معنى. قد يكون الجواب «لا شيء»: إن أقدم مفهوم للمشبك المناعي يتمثل في كونه نوعا من الحبال التي تمكن الخلايا المناعية من توجيه إفرازاتها من السيتوكينات إلى الخلية المستهدفة. ولكن المثير للاهتمام هو تزايد الأدلة التي ترجح أن المشبك المناعي يمكن أن تكون له وظائف أخرى بحسب الخلايا المتشابكة. ويمكن أن تتضمن تلك الوظائف بدء الاتصال أو إنهاؤه، أو المساعدة على تعديل حجم الإشارات بين خليتين إذا جاز التعبير.

في هذه الصورة، يجذب الانتباه خليتان قاتلتان (*في اليمين*) وهما تستعدان لتدمير خلية مريضة (*في المركز*). تتجمع وتتعنقد بروتينات سامة حالّة[1] (*باللون الأخضر*) عند المشبك بين الخلايا التائية والخلايا المستهدفة بعد أن تم نقلها إلى هناك بواسطة البروتينات الخلوية الهيكلية المسماة الأنيبيبات الميكروية (المجهرية)[2] (*باللون الأحمر*). وستُحقن البروتينات الحالة في الخلية المستهدفة عبر مركز التراكيب المشبكية التي قد تمنع أيضا الخلايا التائية من أن تسمم نفسَها.

استجابة لدى الخلية التائية.

وإضافة إلى ذلك، أظهر ‹شاو› و ‹ألين› ومعهما ‹داستن› [الموجود في جامعة نيويورك] ومساعدوهم أن إرسال الإشارات الفعال فيما بين الخلايا التائية والخلايا العارضة للمستضد يبدأ قبل أن تتجمع مستقبلات الخلية التائية في موضعها المستقبلات بعيدا عن غشائها الخلوي أثناء إرسال الإشارات، تستطيع الخلايا التائية منع نفسها من فرط تنبيه مميت قد تسببه كثرة المستضدات. وقد أظهرت التجارب أن الخلايا التائية تستطيع تقليل عدد المستقبلات الموجودة في التركيب البنياني للمشبك كي تقلل تبادل الإشارات. أما في

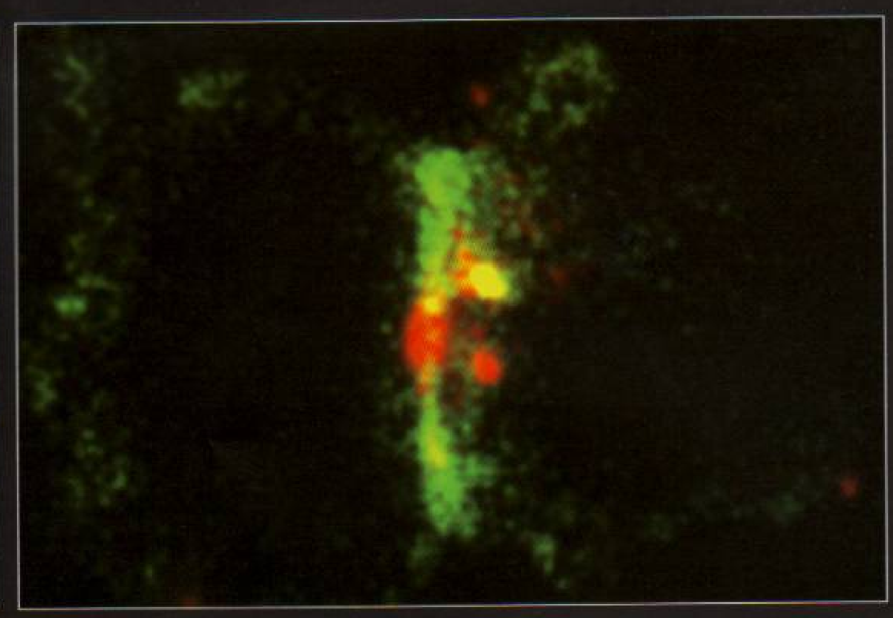
يمكن لهذه النُّسق أن ترسل المعلومات أو تعكسها على الأقل.

ففي عام 2002 لاحظ ‹كوبفر› (الموجود حاليا في كلية الطب بجامعة جون هوبكنز) على سبيل المثال أن تبليغ الإشارات فيما بين خلية تائية وأخرى عارضة للمستضد أمام عناقيد التنشيط فوق الجزيئية يبدأ بأخذ شكل التصاق ناشئ بين الخليتين، ولكن وجود عناقيد التنشيط فوق الجزيئية ضروري لجعل التفاعل بين الخليتين يحدث النهائي في مركز المشبك. وبالفعل، يتم جزء من الاتصال قبل أن يتكون التركيب الناضج، وهذا يعني أن نسق المشبك الناضج يمكن أن يرسل إشارة إنهاء الاتصال.

لقد كان هؤلاء الباحثون وغيرهم يستكشفون ما هو الدور الذي يمكن أن يؤديه البنيان المعماري للمشبك في تنظيم حجم الحوارات بين الخلايا التائية والخلايا العارضة للمستضد. فعن طريق جذب حالة وجود كمية صغيرة من المستضدات فإن الخلايا التائية يمكن أن تكدس مستقبلاتها في تقارب وثيق داخل المشبك كي تضخم الإشارة.

كانت مجموعتي البحثية تدرس ظواهر مماثلة في الخلايا القاتلة الطبيعية (بالفطرة)، وهي نمط من الخلايا المناعية التي تبحث عن الخلايا التي أتلفتها مثلا طفرة سرطانية أو

(1) poisonous lytic proteins
(2) microtubules



أثناء انتقال ڤيروس يخصُّ ابيضاض الدم (اللوكيميا) الخلوي التائي (*باللون الأحمر*) من خلية تائية مصابة بالعدوى إلى خلية تائية غير مصابة (*في الأعلى، من اليسار إلى اليمين*). يُرى جزيء التالين اللاصق (*باللون الأخضر*) وهو يتركز حيث يلتقي الغشاءان الخلويان [*في الأعلى جهة اليسار*] في مشهد من داخل الخلية التائية المصابة بالعدوى. ويوحي هذا التركيب المشابه للمشبك المناعي بأن ڤيروس ابيضاض الدم الخلوي التائي البشري وغيره من الڤيروسات التي تفترس الخلايا المناعية مثل ڤيروس العوز المناعي البشري (المسبب للإيدز)، يمكن أن تنتهز الفرصة وتستفيد من آليات الاتصال الخلوي للانتشار من خلية إلى أخرى.

الخلايا التي أصابها أحد الكائنات المسببة للمرض بعدوى ما وتدمرها. فهذه الخلايا المريضة يمكن أن تفقد خاصية إظهار بعض البروتينات على سطوحها ـ فتدرك الخلايا القاتلة الطبيعية المذكورة آنفا هذا النقصان في البروتينات وتعتبر ذلك علامة على المرض. وها نحن نتوصل حاليا إلى أن كمية هذه البروتينات الموجودة على الخلية المستهدفة تؤثر في نسق المشبك المناعي الذي تكونه الخلية القاتلة الطبيعية. والنسق المختلفة ترتبط فيما إذا كانت الخلية القاتلة الطبيعية ستقرر في النهاية قتل الخلية المستهدفة أو لا. وهكذا يمكن أن تثبت هذه النسق أو على الأقل تعكس المعلومات التي تستخدمها الخلية القاتلة الطبيعية لتحدد مدى اعتلال الخلية المستهدفة.

إلى جانب هذه الاكتشافات الحديثة الخاصة بالوظائف المحتملة للمشبك المناعي والتي تثير الاهتمام والفضول، كانت هناك أيضا بعض الأخبار المزعجة. فهناك ملاحظة حديثة جدا بينت أن هذا الرقص (الاهتزاز) الجزيئي[1] يمكن أن تستغله بعض الڤيروسات، ومن ضمنها ڤيروس العوز المناعي البشري (المسبب للإيدز). فقد بيّن <Ch. بانجام> [من كلية إمبريال بلندن] ومعاونوه أنه عند نقطة التماس بين الخلايا التي تجتازها الجسيمات الڤيروسية تتجمع البروتينات في تركيب يشبه المشبك المناعي (*انظر الشكل في هذه الصفحة*). ومنذ ذلك الحين لاحظ العديد من الباحثين ظواهر مماثلة للمشبك الڤيروسي، ومن ثم يبدو أن الڤيروسات المعروفة بسطوها على الآلة الخلوية من أجل استنساخ مادتها الوراثية (الجينية) قد تكون قادرة كذلك على استخدام آليات الاتصال الخلوية لتدفع نفسها من خلية إلى أخرى.

لقد أطلق اكتشاف المشبك المناعي موجة من الأبحاث المبنية على أساس تصوير تفاعلات الخلايا المناعية والتي لاتزال تحتاج نتائجها إلى استكمال فهمها. ولكن هذا المجال الخصب بدأ بالفعل يطرح فرضيات جديدة ويولد مزيدا من الأبحاث لاختبار تلك الفرضيات. أما فكرة المشبك المناعي ذاتها فقد أعادت بالفعل تشكيل المفاهيم حول الجهاز المناعي كاشفة عن كونه شبكة معقدة لتبادل المعلومات تشبه إلى حد كبير الجهاز العصبي أكثر مما كان يُدرك من قبل.

إن مجرد استخدام مصطلح المشبك في وصف التفاعلات بين الخلايا المناعية قد شجع أيضا علماء الأعصاب والمتخصصين في علم المناعة على مقارنة ملاحظاتهم، فوجدوا أن نمطَي المشبك العصبي والمشبك المناعي يستخدمان جزيئات بروتينية مشتركة. فعلى سبيل المثال، **الأجرين** agrin بروتين مهم يشترك في تجميع غيره من البروتينات عند المشبك بين العصبونات والعضلة. وقد أظهرت تجارب التصوير أن هذا الجزيء ذاته يتراكم أيضا عند المشابك المناعية ويستطيع أن يقوِّي على الأقل بعض أنماط الاستجابات المناعية. وبالمثل تم اكتشاف أن المستقبلة التي تسمى «نيوروبيلين1» والمعروفة باشتراكها في إرسال الإشارات بين العصبونات موجودة أيضا عند المشابك المناعية. وتقترح التجارب أن «النيوروبيلين1» يساعد الخلايا المناعية على بحثها عن المرض بمعاونتها على تأسيس مشابك مناعية مع الخلايا الأخرى. ولكننا بحاجة إلى المزيد من الأبحاث لمعرفة الدور الصحيح الذي تؤديه المستقبلات في المناعة.

إضافة إلى ذلك، قامت مجموعتي البحثية باكتشاف تشابه أخاذ آخر بين

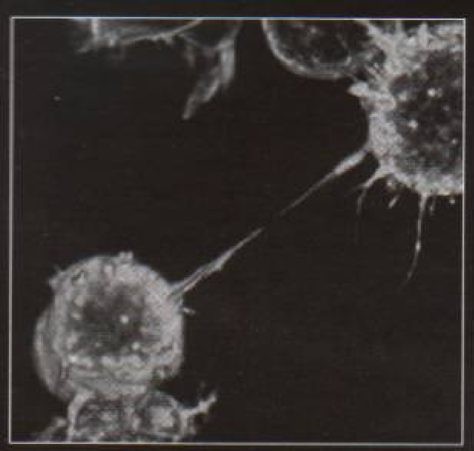
(1) molecular dance

العصبونات والخلايا المناعية حينما لاحظنا أنابيب طويلة مكوَّنة من غشاء خلوي تتكون بسهولة وبسرعة بين الخلايا المناعية ومجموعة متنوعة من أنماط الخلايا الأخرى. وقد كان دافعنا لإجراء هذا البحث الذي أفضى إلى هذا الاكتشاف تقرير صدر عن باحثين ألمان ونرويجيين يصف ظاهرة مماثلة بين العصبونات (*انظر الشكل في هذه الصفحة*). صحيح أنه لا نحن ولا علماء الأعصاب نعرف وظيفة تلك الطرق السريعة الأنبوبية المتناهية الصغر، ولكن اكتشاف تلك الوظيفة يعتبر هدفا جديدا لعلم المناعة وعلم الأعصاب على حد سواء.

وعلى سبيل المثال، يمكن أن تؤلف هذه الأنابيب الغشائية الدقيقة آلية لم تكن معروفة من قبل للاتصال بين الخلايا المناعية وذلك عن طريق السماح بإفراز موجَّه للسيتوكينات فيما بين الخلايا البعيد بعضها عن بعض، فقد وجد <S. واتكينز> و <R. سالتر> [من كلية الطب في جامعة بتسبرگ] أن مجموعة من الخلايا المناعية يمكنها أن تستخدم مثل تلك الطرق السريعة الأنبوبية الدقيقة لنقل إشارات الكالسيوم عبر مساحات شاسعة (بالمقياس الخلوي) تصل إلى مئات الميكرونات خلال ثوان.

وفي المستقبل قد يكشف إجراء المزيد من الدراسات عن التفاعل بين مجموعات أكبر من الخلايا المناعية عن نواح إضافية لشبكات الاتصال بين الخلايا المناعية. ويُعد تصوير التفاعلات بين الخلايا المناعية أثناء تجوالها داخل الأجسام الحية ـ وليس وهي على شريحة ـ مجالا مهما آخر لهذا الخط البحثي.

وفي تقرير حديث وصف <J. سولستون> [الحائز جائزة نوبل] استخدامه مجهر الحافة القاطعة[1] في السبعينات من القرن الماضي لفهم نمو الديدان قائلا: الآن، ولدهشتي، يمكنني أن أشاهد انقسام الخلايا. فصور <نورماسكي> للدودة هي من أجمل الأشياء التي يمكن تخيلها.. وقد




تربط أنابيب نانوية[2] ـ مكوَّنة من الغشاء الخلوي ـ خليتين عصبيتين إحداهما بالأخرى (*في اليمين*) وخليتين مناعيتين إحداهما بالأخرى (*في اليسار*). ولاتزال هذه التراكيب المكتشفة حديثا غير مفهومة جيدا، ولكنها يمكن أن تؤلف آلية مبتكرة (غير مألوفة) للاتصال بين الخلايا عبر المسافات الطويلة. لقد شوهدت كل من الخلايا المناعية والخلايا العصبية وهي تتناقل البروتينات أو الكالسيوم فيما بينها عبر هذه الأنفاق المتناهية الصغر، كما شوهدت الفيروسات وهي تنتقل من خلية إلى أخرى داخل هذه الأنابيب أيضا.

توصلت في إحدى عطلات نهاية الأسبوع إلى حل لغز الجزء الأعظم من نمو وتطور الحبل البطني[3] بعد طور المضغة في الجنين عبر المشاهدة فحسب.

إن استخدام المجهر العالي الميز في مجال تفاعلات الخلايا المناعية لايزال مجالا فتيا جدا وفي جعبته بالتأكيد المزيد من المفاجآت. ومع أن جميع البروتينات السطحية المشتركة في قيام الخلايا المناعية بتعرف المرض قد تمّ تعيين هويتها وتسميتها عمليا، فإن قدرة العلماء حاليا على مشاهدة هذه الجزيئات وهي تؤدي وظائفها في الزمان والمكان قد كشفت عن آلية المشبك المناعي وأعادت تأكيد قيمة «مجرد المشاهدة الفورية» باعتبارها طريقة علمية. ■

(1) cutting-edge microscopy (SMACs)
(2) nanotuber: أنابيب دقيقة متناهية في الصغر (تقاس بالنانومتر ويساوي 10^{-9} من المتر).
(3) ventral cord (التحرير)

المؤلف

Daniel M. Davis

هو أستاذ في علم المناعة الجزيئية بكلية إمبريال في لندن، وقد تخصص في دراسة التفاعلات بين الخلايا المناعية باستخدام المجهر العالي الميز. ولأنه بدأ مهنته العلمية فيزيائيا، فقد تحول إلى علم المناعة كزميل في معهد إيرڤنجتون للأبحاث التالية للدكتوراه في قسم علم الأحياء (البيولوجيا) الجزيئية والخلوية بجامعة هارڤرد. وقد قام هنالك في عام 1999 بتصوير أول صور لبنية المشبك المناعي في الخلايا القاتلة الطبيعية، وهي التي زودتنا أيضا بأول رؤية لتكون المشابك بين الخلايا الحية. ومنذ ذلك الحين قام <ديفيز> بتأليف ـ أو بالاشتراك في تأليف ـ أكثر من 50 ورقة علمية في الفيزياء التصويرية وعلم المناعة.

مراجع للاستزادة

Three-Dimensional Segregation of Supramolecular Activation Clusters in T Cells. C. R. Monks, B. A. Freiberg, H. Kupfer, N. Sciaky and A. Kupfer in *Nature*, Vol. 395, pages 82–86; September 3, 1998.

Neural and Immunological Synaptic Relations. Michael L. Dustin and David R. Colman in *Science*, Vol. 298, pages 785–789; October 25, 2002.

What Is the Importance of the Immunological Synapse? Daniel M. Davis and Michael L. Dustin in *Trends in Immunology*, Vol. 25, No. 6, pages 323–327; June 2004.

The Language of Life: How Cells Communicate in Health and Disease. Debra Niehoff. Joseph Henry Press, Washington, D.C., 2005. Available online at National Academies Press: www.nap.edu/books/0309089891/html

Scientific American, February 2006

هل الخلايا الجذعية المسبب الحقيقي للسرطان؟(*)

يتمثل الجانب المظلم للخلايا الجذعية ـ وهو إمكان تحولها إلى خلايا خبيثة ـ في كونها أصل عدد قليل من السرطانات، وربما السبب في سرطانات أخرى كثيرة. ويمكن أن يعتمد الشفاء من هذا المرض على تعقب هذه الخلايا المحيرة القاتلة وتدميرها.

<M. F. كلارك> ـ <M. W. بيكر>

بعد انقضاء أكثر من ثلاثين عاما على الحرب المعلنة ضد السرطان، يمكن الادعاء أن انتصارات قليلة مهمة قد تحققت، مثل معدل للبقيا قدره 85 في المئة لبعض سرطانات الطفولة التي كان تشخيصها يمثل في ما مضى حكما بالموت. كما أمكن لأدوية حديثة في حالات أخرى من السرطانات أن تعمل نوعا ما على إحصار المرض، لتجعل منه حالة يمكن للمريض أن يعيش بها. ففي عام 2001 مثلا، تمت المصادقة على العَقَّار كليفك Gleevec لمعالجة **ابيضاض الدم النَّقَوي (النخاعي)**(1) **المزمن** chronic myelogenous leukemia (CML). ولاقى العَقَّار نجاحا باهرا، ذلك أن عددا كبيرا من المرضى هم حاليا في هدأة نتيجة المعالجة بالعقار كليفك. ولكن الأدلة توحي بقوة بأن هؤلاء المرضى لم يشفوا شفاء حقيقيا، ذلك أن مستودعا من الخلايا الخبيثة مسؤولا عن إبقاء المرض لم يُستأصل بعد.

ووفقا لمعرفة تقليدية شائعة، فقد ظل الاعتقاد سائدا لفترة طويلة أن بقاء أي خلية ورمية في الجسم قد يجعل احتمال الإصابة بالمرض قائما. لذا، فإن المعالجات الحالية تتركز على قتل أكبر عدد ممكن من الخلايا السرطانية. ولكن نجاحات هذه المقاربة لاتزال إلى حد كبير قيد الصواب والخطأ. كما يظل التكهن بالمرض ضعيفا لدى ذوي الحالات المتأخرة من الأورام الخبيثة الصلبة الأكثر شيوعا.

فضلا على ذلك، فلقد غدا واضحا حاليا أنه في السرطان CML (ابيضاض الدم النقوي المزمن) وأنواع قليلة أخرى من السرطانات هنالك نسبة في غاية الضآلة من الخلايا الورمية تمتلك القدرة على إنتاج نسيج سرطاني جديد، وأن استهداف هذه الخلايا النوعية بغية تدميرها قد يمثل الطريقة الأكثر نجاعة للتخلص من المرض. وبالنظر إلى أن هذه الخلايا تعمل كمحرك يستثير نمو خلايا سرطانية جديدة، ويحتمل كثيرا أنها تشكل أصل الخباثة نفسها، فلقد عُرفت بالخلايا الجذعية السرطانية ولكن يعتقد أيضا ـ بموضوعية تامة ـ أن هذه الخلايا أو ذريتها غير الناضجة والتي خضعت لتحول سرطاني، كانت في وقت ما خلايا جذعية سوية.

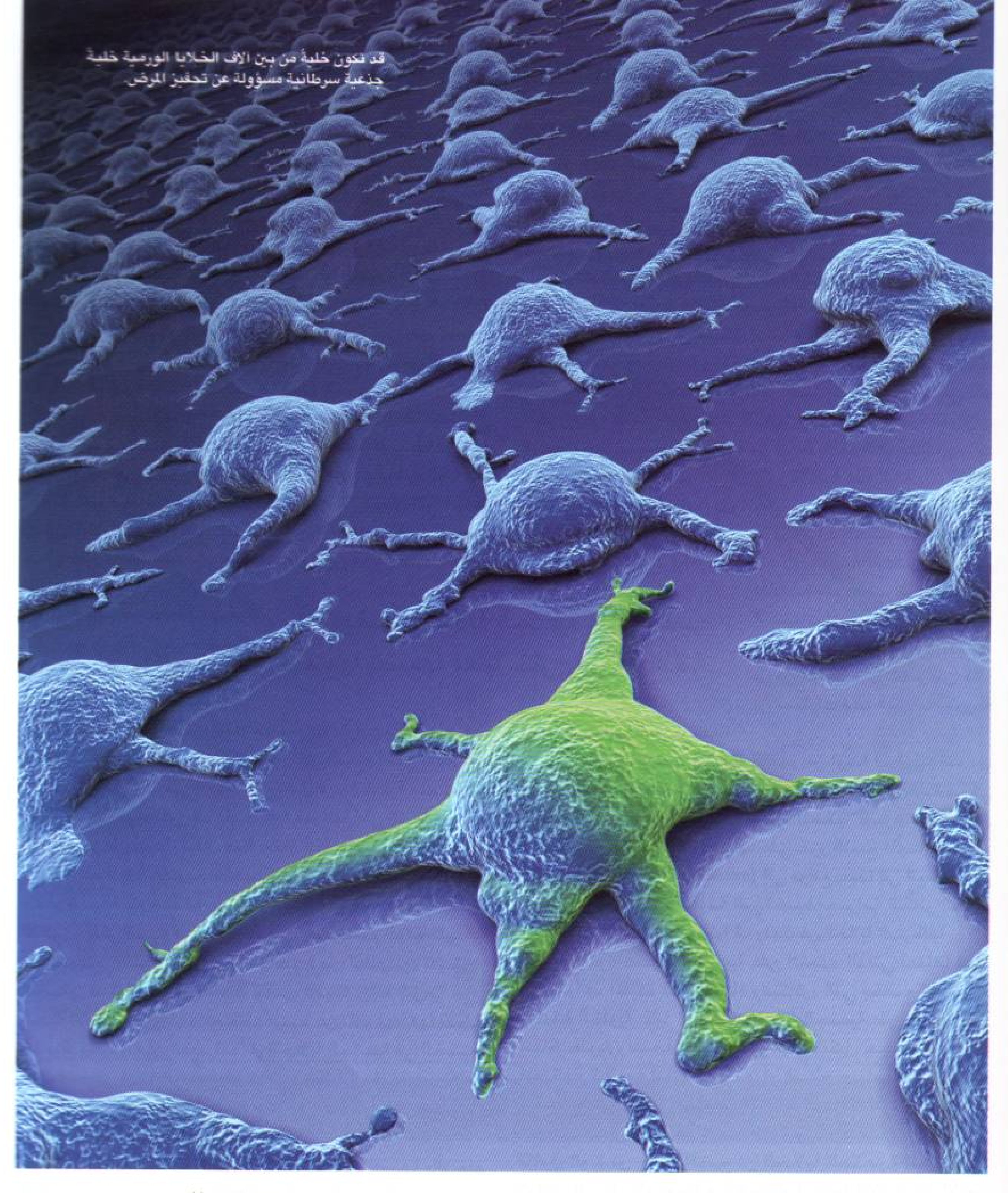
إن هذا التصور في أن تجمعا صغيرا من الخلايا الجذعية الخبيثة يستطيع أن يسبب السرطان ليس جديدا. ويُعتبر أن أبحاث الخلايا الجذعية قد بدأت فعليا في خمسينات وستينات القرن الماضي بدراسة الأورام الصلبة وسرطانات الدم. وتم الكشف عن عدد كبير من المبادئ الأساسية لتكوّن النسج السوية ولسيرورات التنامي بملاحظة ما يحدث عندما تخرج السيرورات السوية عن مسارها.

واليوم تُلقي دراسة الخلايا الجذعية الضوء على أبحاث السرطان. وفي السنوات الخمسين الفائتة زودنا العلماءُ بتفاصيل وافية عن الآليات الناظمة لسلوك الخلايا الجذعية السوية ولنتاجها الخلوي. وبدورها أدت هذه

نظرة إجمالية/ الخلايا الجذعية السرطانية(**)

- غالبا ما ينظر إلى الخلايا السرطانية على أن لجميعها الإمكانية نفسها لتتكاثر ولتنشر المرض. ولكن في أنماط كثيرة من السرطان يوجد فقط مجموعة ضئيلة من الخلايا الورمية تمتلك هذه المقدرة.
- تتقاسم الخلايا المولدة للورم مع الخلايا الجذعية سمات أساسية، بما في ذلك مدى عمر غير محدود وقدرتها على توليد طيف متنوع من أنماط خلوية أخرى. لذا فقد اعتُبرت هذه الخلايا المولدة للورم خلايا جذعية سرطانية.
- يعتقد أن هذه السليفات الخبيثة تنشأ نتيجة إخفاقات تنظيمية في الخلايا الجذعية التالفة أو لنسلها المباشر.
- ومن أجل استئصال شافة المرض، فإن على معالجات السرطان أن تستهدف الخلايا الجذعية السرطانية.

(*) STEM CELLS: THE REAL CULPRITS IN CANCER?
(**) Overview/ Cancer Stem Cells
(1) myelogenous: ينشأ في نقي (نخاع) العظام. (التحرير)



قد تكون خلية من بين آلاف الخلايا الورمية خلية جذعية سرطانية مسؤولة عن تحفيز المرض.

التبصرات الجديدة إلى اكتشاف سلسلة مماثلة بين الخلايا السرطانية ضمن الورم نفسه، لتضيف سندا قويا للنظرية التي ترى أن الخلايا الشبيهة بالجذعية والتي ضلت طريقها تمثل الجذر الذي نشأت عنه سرطانات عديدة. لذا، فإن الاستهداف المجدي لهذه الخلايا الجذعية السرطانية بغية استئصال شأفتها يتطلب في المقام الأول فهما جيدا للكيفية التي تتحول فيها خلية جذعية سوية إلى ضارة.

سلوك منظم[*]

وكما هو معروف، فإن الجسم البشري يمثل «منظومة ذات أحياز غاية في التخصص»[1]، تتألف من أعضاء ونسج متفردة، يؤدي كل منها وظيفة أساسية للحفاظ على الحياة. ولكن الخلايا الإفرادية التي تؤلف هذه النسج غالبا ما تتميز بقصر أجلها. فالجلد الذي

(*) Orderly Conduct

(1) highly compartmentalized system

يغطي جسدك اليوم هو ليس حقيقة الجلد نفسه الذي كان لديك قبل شهر من الزمن، ذلك أن خلايا سطحه قد انسلخت، وتم استبدالها. كما أن بطانة المِعَى تُستبدل كل أسبوعين تقريبا. ويبلغ مدى عمر الصُفيحات الدموية التي تساعد على تجلط الدم قرابة عشرة أيام.

إن الآلية التي تُبقي على مجموعة ثابتة من الخلايا العاملة في هذه النسج تكون متناغمة عبر الجسم كله، وهي في واقع الأمر مصانة في الأنواع المعقدة كافة. وتتمركز هذه الآلية في **جَميعة** pool صغيرة من الخلايا الجذعية المديدة العمر، تعمل مصانع للإمدادات الجديدة من الخلايا الوظيفية. وتتبع هذه السيرورة التصنيعية خطى على درجة عالية جدا من التنظيم والانتظام، بحيث يصبح وفقا لذلك كل جيل من ذراري[1] الخلايا الجذعية على درجة متزايدة من التخصص.

ولعل عائلة نقي (نخاع) العظم المكونة للدم وللخلايا المناعية تشكل خير مثال لهذه المنظومة. فجميع الخلايا الوظيفية الموجودة في الدم واللمف تنشأ عن خلية والدية عامة واحدة، تعرف **بالخلية الجذعية المكونة للدم** hematopoietic stem cell (HSC)، تستوطن نِقي العظم. وتمثل الخلية HSC في البالغ لا يزيد على 0.01 في المئة من مجموع خلايا نِقي العظم. ومع ذلك، فإن كل خلية من هذه الخلايا النادرة تعطي عددا كبيرا جدا من **الخلايا السليفة** progenitor cells المتمايزة تمايزا وسطا (غير كاملة التمايز). وتنقسم هذه الخلايا بدورها، وتتمايز أكثر عبر عدة مراحل إلى خلايا ناضجة، مسؤولة عن إنجاز مهام نوعية؛ تراوح بين الدفاع ضد العدوى (الخمج) وبين نقل الأكسجين إلى النسج [*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*]. وفي اللحظة التي تصل فيها الخلية هذه المرحلة النهائية الوظيفية، تكون قد فقدت كليا قدراتها على التكاثر أو على تغيير مصيرها وقَدَرها، فيقال عنها عندئذ إنها صارت كاملة التمايز.

أمَّا الخلايا الجذعية نفسها فتبقى، في غضون ذلك، غير متمايزة: حالة يتم الحفاظ عليها من خلال قابليتها المتفردة للتجدد الذاتي[2]. فلكي تشرع في إنتاج نسج جديدة، تنقسم الخلية الجذعية إلى خليتين اثنتين، ولكن خلية واحدة من الخليتين الابنتين[3] الناتجتين قد تواصل، عبر مسلك خاص، باتجاه زيادة النوعية[4]. أمَّا الخلية الابنة الأخرى فقد تحتفظ، عوضا عن ذلك، بهويتها كخلية جذعية. وهكذا، فإن العدد المجمل للخلايا الجذعية في الجَميعة الواحدة يبقى ثابتا، في حين أن تكاثر الخلايا السليفة غير كاملة التمايز يتيح لتجمعات من أنماط نوعية من الخلايا المكونة للدم بأن تنتشر بسرعة كاستجابة للحاجات المتغيرة.

وتُعَدُّ قابليةُ الخلايا الجذعية لإعادة تخليق نفسها بالتجدد الذاتي هي الخاصةَ المميزة الأكثر أهمية، وهي التي تمنح هذه الخلايا الكمون لمدى عمرٍ ولتكاثر في المستقبل غير محدودين. وبالمقابل، فإن الخلايا السليفة تمتلك بعض المقدرة على تجديد نفسها أثناء تكاثرها، ولكنها مقيدة بآلية ضبط داخلية لعدد محدد تماما من الانقسامات الخلوية. ومع تزايد التمايز، فإن قدرة ذراري السليفات على التكاثر تتناقص تناقصا مطردا.

ويمكن ملاحظة الدلالة العملية لهذه الامتيازات عندما يتم اغتراس الخلايا الجذعية المكونة للدم أو الخلايا المتحدرة عنها. فعندما يتم تشعيع نِقي عظم الفأر بغية تخريب الجهاز الطبيعي المكون للدم في الجسم، يمكن للخلايا السليفة التي تم اغتراسها في وسط النِّقي أن تتكاثر وتجدد تكوين الدم مؤقتا. ولكن بعد أربعة أسابيع إلى ثمانية، فإن تلك الخلايا ستموت. ومن جهة أخرى، فإن اغتراس خلية جذعية واحدة فقط مكونة للدم، يمكن أن يجدد كامل الجهاز الدموي للحيوان طوال مدة حياته.

لقد تم التوصل إلى فهم جيد لتعضي الجهاز المكوِّن للدم قبل أكثر من ثلاثين عاما؛ إلا أنه تم حديثا تعرُّف سلسلة خلوية مماثلة في نُسج بشرية أخرى، تشمل الدماغ والثدي وغدة البروستاتة (الموثة) والأمعاء الغليظة والدقيقة والجلد. كما أن مبادئ سلوك الخلايا الجذعية المنظمة تتشاركها أيضا هذه النسج، بما في ذلك آليات نوعية للتحكم في أعداد الخلايا الجذعية، ولتوجيه القرارات في ما يتعلق بمصير كل خلية من الخلايا. فمثلا، هنالك جينات عديدة وشلال من الأحداث[5] تستثير فاعلية هذه الخلايا ـ تعرف بالمسارات الجينية ـ تؤدي دورا حاسما في تقرير مصير الخلايا الجذعية ووظيفتها. وتوجد بين هذه المسارات الجينية سبل تأشير[6] تضبطها الجينات *Bmi-1* و *Notch* و *Sonic hedgehog* و *Wnt*. ومع ذلك، لم يتم تعرف أغلب هذه الجينات للمرة الأولى بوساطة علماء يدرسون الخلايا الجذعية، بل من قبل باحثي السرطان؛ ذلك أن مسارات هذه الجينات متورطة أيضا في تنامي السرطانات.

إن مقدرة الخلايا الجذعية على تجديد نفسها تضعها فعليا خارج قواعد اللعبة.

وبالفعل، فقد تمت ملاحظة الكثير من أوجه التشابه هذه بين الخلايا الجذعية والخلايا السرطانية. وينطوي التعريف الكلاسيكي للسرطان نفسه على القابلية الظاهرية للخلايا السرطانية لتعيش وتتكاثر إلى ما لانهاية، وقدرتها على غزو النسج المجاورة، وعلى الهجرة (**الانتقال** metastasization) إلى مواقع بعيدة في الجسم. وفي الواقع، إن التقييدات المألوفة التي تضبط بصرامة التكاثر الخلوي وهوية الخلايا السوية يبدو أنها قد رُفعت عن الخلايا السرطانية.

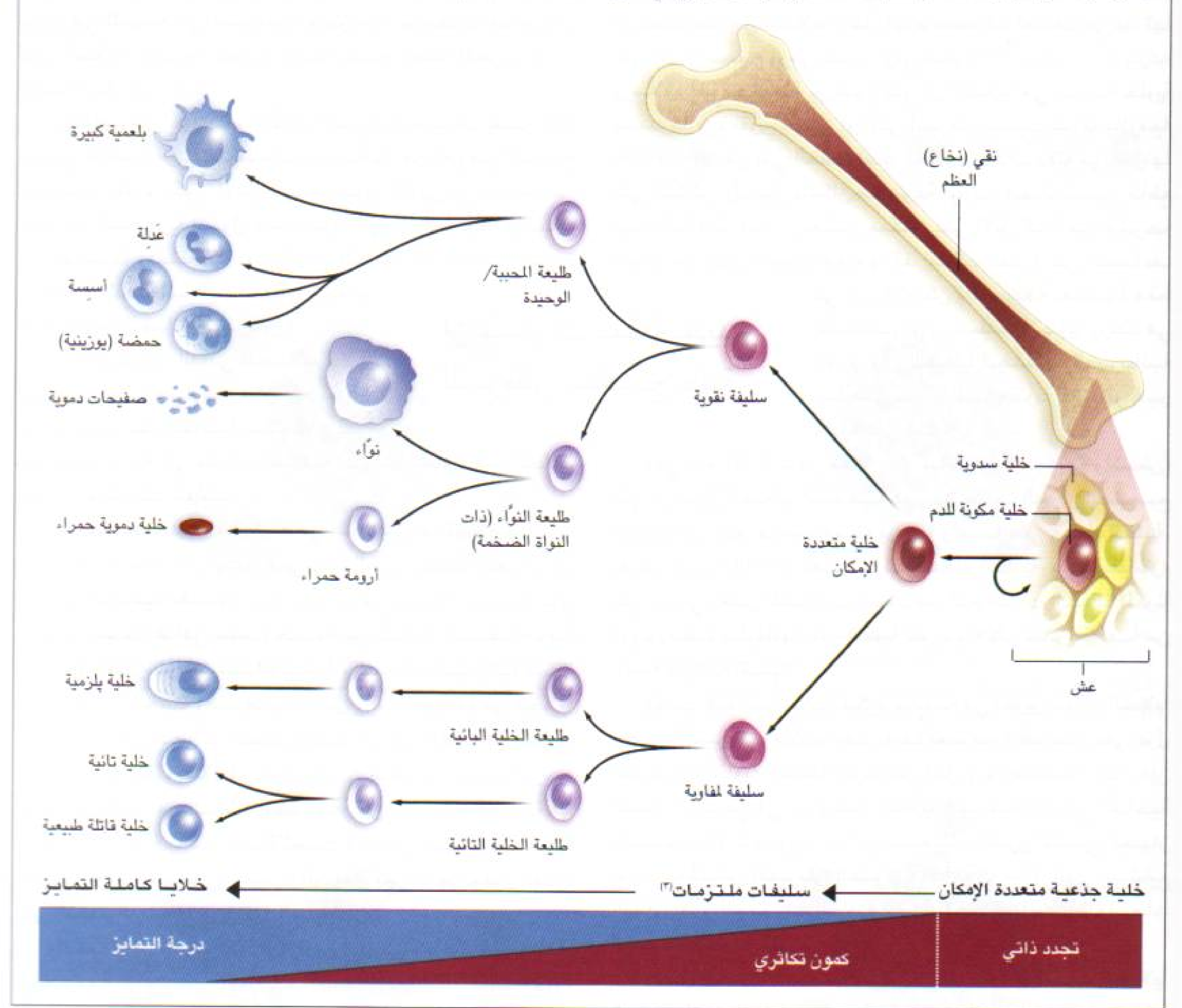
إن مقدرة الخلايا الجذعية على التجدد الذاتي أعفاها فعلا من القواعد المقيدة لمدى الحياة وللتكاثر، التي يخضع لها معظم الأنماط الخلوية. كما أن قدرة الخلايا الجذعية على التمايز إلى أنماط خلوية واسعة الطيف أتاح لها تشكيل جميع العناصر المختلفة اللازمة لتكوين عضو أو نسيج. وبالمماثلة، تتجسد السمة المميزة للأورام بتغاير الأنماط الخلوية التي تحويها هذه الأورام، وكأن الورم هو نسخة محورة مغرقة في الفوضى لكامل العضو. ولقد اتضح أن الخلايا الجذعية المكونة للدم تهاجر إلى أقسام بعيدة في الجسم استجابة لإشارات الأذى، تماما كما تهاجر الخلايا السرطانية.

أمَّا في الخلايا الجذعية السوية، فإن التنظيم الجيني الصارم يجعلها تحت السيطرة من النمو والتنوع غير المحدودين. إن إزالة آليات السيطرة تلك سينجم عنها ما يماثل كثيرا السرطان. وتوحي هذه القواسم المشتركة، جنبا إلى جنب مع أدلة تجريبية متنامية، أن

(١) جمع ذُرية.
(٣) daughter
(٥) cascades of events
(٢) self-renewal
(٤) specificity
(٦) signaling pathways

الهرمية في الخلايا المكونة للدم(*)

توضح الخلايا الجذعية في **جهاز تكوين الدم** hematopoietic system المبادئ التي تحكم أيضا فاعلية الخلايا الجذعية في نسج أخرى. وتشكل مجموعة صغيرة من **الخلايا الجذعية المكونة للدم** hematopoietic stem cells (HSC) في نقي (نخاع) العظم مصدرَ معظم الأنماط الخلوية المختلفة، الدموية منها والمناعية، التي تجول في الجسم البشري. وتستوطن الخلايا HSC في عش بيئي[1] خاص، محاط بخلايا من نسيج ضام تعرف **بالخلايا السدوية (اللحمة)** stromal cells، تزود الخلايا الجذعية بإشارات تنظيمية مهمة. فعندما تدعو الحاجة إلى خلايا دموية أو مناعية جديدة، تنقسم الخلية HSC لتنتج خلية ابنة تبقى في العش محتفظة بهويتها المديدة العمر، وخلية ابنة أخرى قصيرة العمر تعرف **بالخلية السليفة المتعددة الإمكان (القوى)** multipotent progenitor cell (MPP). وبدورها تنقسم الخلية MPP لتنتج سليفات تلتزم بتوليد خلايا في السُّلالات النقوية (الدموية) أو اللمفاوية (المناعية). وما إن يتزايد تخصص الخلايا المتحدرة من السليفات، حتى تعاني انخفاضا مبرمجا في قدرتها على التكاثر حتى تتوقف عن الانقسام، فيقال عنها إنها في حالة تمايز نهائي. والخلايا الجذعية هي الوحيدة التي تحتفظ بكمون تكاثري غير محدود[2] عبر قدرتها على تجديد نفسها تجديدا لانهائيا بأن تنقسم من دون أن تتمايز.



إخفاق تنظيم الخلايا الجذعية يمثل الكيفية التي تبدأ وفقا لها أنماط خلوية عديدة بالتسرطن، وكيف تُخلِّد هذه السرطانات نفسها، وكيف يمكن احتماليا للسرطانات أن تنتشر.

موطن الضَّعف(**)

إن وجود الخلايا الجذعية في نسج معينة، وبخاصة تلك التي يكون معدل التحول الخلوي (الانقسام الخلوي) فيها عاليا كالمِعَى والجلد يبدو وكأنه منظومة شديدة التعقيد وغير كفؤة لتحل محل الخلايا التالفة أو الهرمة، أو لا يبدو أنه سيكون معقولا أكثر في ما يتعلق بالكائن الحي إذا أمكن لكل خلية من خلاياه أن تتكاثر ببساطة، وكلما دعت الحاجة إلى ذلك، لتقدم خلايا بديلة عوضا عن الخلايا المتأذية المجاورة لها؟ للوهلة الأولى، قد يبدو ذلك ممكنا، ولكن هذا سيجعل من كل خلية في الجسم خلية سرطانية كامنة.

(*) Hierarchy in Blood-Forming Cells
(1) environmental nicke
(3) committed progenitors
(**) Achilles' Heel أو المقتل
(2) unlimited proliferative potential

ويُعتقد أن السرطانات تنشأ عندما تتراكم تغيرات «**جينية ورمية**» oncogenic، تتناول جينات أساسية داخل الخلية، وتؤدي إلى نمو وتحول شاذين لتلك الخلية. وتحدث الطفرات الجينية نمطيا عبر أذى مباشر، كتعرض الخلية للإشعاع أو للكيماويات، أو ببساطة عبر أخطاء عشوائية عندما يتم نسخ الجينة نسخا خاطئا قبل حدوث الانقسام الخلوي. وبالنظر إلى أن الخلايا الجذعية النادرة هي الخلايا الوحيدة المعمرة في الأعضاء حيث تتنامى معظم السرطانات، فهي تمثل مستودعا كمونيا أصغر بكثير من أن يتراكم فيه التالف الجيني الذي قد يؤدي في النهاية إلى السرطان. ولكن مما يؤسف له أنه بسبب كون الخلايا الجذعية معمرة، فإنها تصبح أيضا المخزن الأكثر احتمالا لمثل هذا التلف.

وبالفعل، فإن طول عمر الخلايا الجذعية نفسه قد يفسر لماذا يتنامى الكثير من السرطانات بعد عقود من تعرض النسيج للتشعيع. وقد لا تكون الأذية البدئية سوى الأولى في سلسلة من الطفرات الضرورية لتحول خلية سوية إلى خلية خبيثة. وإضافة إلى تكديسها واحتفاظها بهذه الندب الجينية الورمية، فإن القدرة التكاثرية المذهلة للخلايا الجذعية تجعلها هدفا مثاليا للخباثة (للسرطان). وبالنظر إلى أن التجدد الذاتي للخلايا يكون منظما تنظيما صارما، فإن مجموعة خلوية تمتلك تلك القابلية ستحتاج لكي تصبح سرطانية إلى طفرات إضافية أقل مما تحتاج إليه الخلايا التي لا تمتلك تلك القابلية.

وإذا ما أخذنا هذه الاعتبارات في الحسبان، فستصبح مسارات ممكنة كثيرة للسرطان جلية. ففي أحد الطرز، تحدث الطفرات في الخلايا الجذعية نفسها، مما يتسبب في فقدها السيطرة على قرارات التجدد الذاتي منتجة جُميعة من الخلايا الجذعية مؤهلة للإصابة بالسرطان. إن أحداثا جينية ورمية إضافية تالية تحفز تكاثر الخلايا الخبيثة (السرطانية) داخل ورم ما، قد تقع في الخلايا الجذعية أو في الخلايا المتحدرة منها؛ أي في المجموعة الخلوية السليفة المتورطة. ويُعتقد في طراز ثانٍ أن الطفرات الجينية الورمية تحدث في البدء في الخلايا الجذعية، لكن الخطوات النهائية في التحول إلى خلايا سرطانية تحدث فقط في الخلايا السليفة المتورطة. وسيتطلب هذا السيناريو أن يعاد بطريقة ما تفعيل القدرة على التجدد الذاتي التي فقدتها السليفات.

وتدعم الأدلة الحالية كلا الطرازين إنما في سرطانات مختلفة. ويوجد مثال واحد على الأقل لكلتا السيرورتين اللتين تؤديان دورا معينا في مراحل مختلفة للمرض نفسه. فابيضاض الدم النقوي المزمن (CML) هو سرطان الخلايا الدموية البيض، وينجم عن اندماج خاطئ لجينتين اثنتين. إن غرز الجينة المندمجة الناتجة سيحول خلية جذعية مكونة للدم سوية إلى خلية جذعية لابيضاض (لسرطان) الدم. إن مرض CML الذي تُرك من دون معالجة يتطور إلى شكل حاد يعرف **ببُحران**(1) **(عصف) ابيضاض الدم النقوي المزمن** CML blast crisis. إن الأحداث الجينية الإضافية النوعية المسؤولة عن هذا الشكل المحور الأكثر ضراوة للمرض قد منحت خلايا سليفة معينة القدرة على التجدد الذاتي.

إن مسارات ممكنة عديدة للسرطان ستصبح جلية.

مسعى مطرد(*)

خلال العقد الماضي، رسَخ دليلٌ على أنه يمكن للخلايا الجذعية أن تصبح خبيثة، وإن خلايا سرطانية معينة فقط تتقاسم تنوعا من السمات مع الخلايا الجذعية؛ رسخ الفكرةَ أن الباعث الأساسي لنمو الورم قد يكون مجموعة صغيرة من الخلايا السرطانية الشبيهة بالجذعية. ومع أن لهذه النظرية تاريخا طويلا، فإن التِّقانة لم تكن متوافرة في الماضي للبرهان عليها.

وفي ستينات القرن الماضي بدأت فعلا قلة من العلماء بملاحظة أن مجموعات من الخلايا داخل الورم نفسه قد اختلفت في قدرتها على إنتاج نسيج ورمي جديد. وفي عام 1971، برهن <C. H. پارك> وزملاؤه [في جامعة تورنتو] على أن الخلايا في مزرعة خلوية مصدرها ورم نقوي أصلي أو أولي (سرطان يصيب **خلايا پلازمية** plasma cells في نقي العظم) أبدت اختلافات ذات دلالة في قدرتها على التكاثر. ولم يكن بإمكان مجموعة <پارك> إيجاد تفسير قاطع لهذه الظاهرة، ذلك أن تعليلين ممكنين على الأقل كانا قد اقترحا حينئذ: قد تكون الخلايا جميعها قد امتلكت القدرة على التضاعف في الزرع، ولكن بالمصادفة بعضها فقط تضاعف، أو أن تسلسلا خلويا يوجد في الورم، وأن الخلايا الجذعية السرطانية ستعطي خلايا غير مكونة للورم أو غير قادرة على التكاثر.

وفي عام 1967، برهن فعلا <J. P. فيالكو> [من جامعة واشنطن] على أن طراز الخلايا الجذعية هو احتماليا الطراز الصحيح لابيضاض الدم. فباستعماله پروتينا واسما على غشاء الخلية، يعرف بالرمز G-6-PD، يمكنه تعرف السُّلالة الخلوية، برهن <فيالكو> على أنه في بعض المصابات بابيضاض الدم نشأت الخلايا المكونة للورم وأيضا سليفاتها غير المكونة للورم والأكثر تمايزا كليهما من الخلية الوالدية نفسها.

وكانت هذه الدراسات المبكرة حاسمة في تطوير نموذج الخلايا الجذعية للسرطان، ولكنها ظلت مقيدة بعدم قدرة الباحثين على عزل الجمهرات الخلوية المختلفة الموجودة داخل ورم وفحصها. ولذا، فإن الحدث الرئيسي في بيولوجيا الخلايا الجذعية كان في المُتاحية (المستفادية) التجارية، بدءا من سبعينات القرن الماضي، لجهاز يعرف **بمقياس الجريان الخلوي** flow cytometer، الذي يستطيع آليا أن يفرز الجمهرات الخلوية الحية المختلفة بناء على الواسمات السطحية المتفردة التي تحملها.

وتمثل الحدث الحاسم الثاني حول تطور دراسات الخلايا الجذعية السرطانية في تطوير اختبارات حاسمة للتجدد الذاتي في تسعينات القرن الماضي. ولم تتوافر المقايسات(2) التي تؤكد التجدد الذاتي في الخلايا البشرية إلا عندما طور كل من <وايزمان> [من جامعة ستانفورد] و<J. E. ديك> [من جامعة تورنتو] طرائق أتاحت للخلايا الجذعية البشرية السوية أن تنمو في الفئران. فباستعمال مقياس الجريان الخلوي(3) ونموذج الفأر الجديد هذا، شرع <ديك> في عام 1994 في نشر سلسلة من التقارير التي أثرت في تطور هذا

(*) Steady Pursuit

(1) هو التغير الذي يحدث دفعة في الأمراض الحادة.

(2) assays

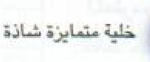
(3) flow cytometry

مسارات ممكنة للسرطان(*)

لقد تم التثبت من وجود الخلايا الجذعية السرطانية التي تتسبب في نمو الورم في أنواع عديدة من سرطانات الدم وفي حفنة من الأنماط الورمية الصلبة، ولكن الكيفية التي تنشأ وفقا لها هذه الخلايا الجذعية الخبيثة مازالت غير مؤكدة. وكالخلية الجذعية السوية، فإن للخلية الجذعية السرطانية القدرة على التجدد الذاتي بالانقسام من دون أن تتمايز، ولذا فإنها تستطيع كمونيا أن تنشئ عددا غير محدود من الخلايا غير المتمايزة الشاذة التي تشكل معظم الورم. ولهذه الخلايا السليفة مدى عمري محدود، وليست بحد ذاتها مولدة للورم؛ أي إنها لا تولد خلايا سرطانية جديدة. ويُضبط سلوك الخلايا الجذعية السوية ضبطا صارما من قبل برنامجها الجيني بالتوافق مع إشارات تتلقاها من عشها البيئي. لذا، فإن التغيرات التي تطرأ على الطريقة التي تستجيب وفقا لها الخلايا الجذعية السرطانية، التي تحمل طفرات جينية مكونة للورم ـ لتأشير العش(1)، قد تؤدي دورا مهما في الانتقال النهائي للخباثة [a، b، c، d]. أمَّا الخيار الآخر فيتمثل في أن الطفرات في الخلايا الجذعية قد تُستبقى في الخلايا غير الناضجة المتحدرة منها؛ أي الخلايا السليفة progenitor cells، التي تعاني في ما بعد طفرات إضافية تعيد تفعيل خاصية التجدد الذاتي التي تمتلكها في الحالة السوية الخلايا الجذعية فقط [d]. وقد لوحظت أدلة على هذه الإمكانات جميعها في أنواع مختلفة من السرطان.

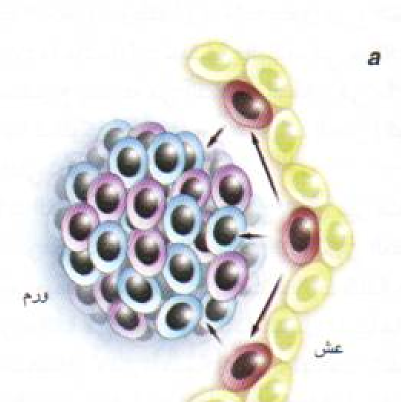




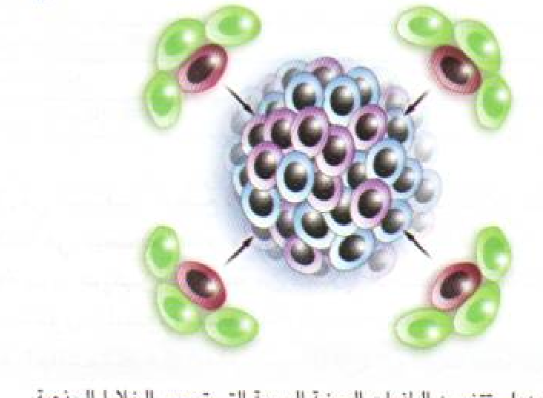





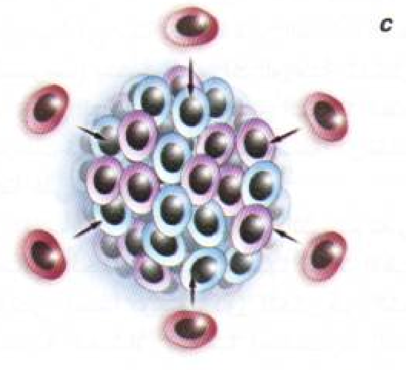




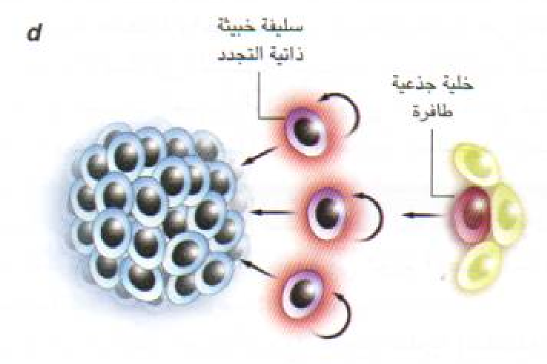
عش متسع. تُستبقى الخلايا الجذعية السرطانية ذات الطفرات الجينية الورمية في حالة مقيدة بوساطة إشارات عُشِّية صحيحة حتى يتسبب تغير إضافي في الخلايا الجذعية السرطانية، أو في العش، في توسع هذا العش. ويتيح العش الأكبر للخلايا الجذعية الخبيثة أن تزيد مجموعاتها (جمهراتها) الخلوية الخاصة بها، ومن ثم زيادة عدد الخلايا الشاذة التي تولدها.



عش بديل. تتضمن الطفرات الجينية الورمية التي تصيب الخلايا الجذعية السرطانية تغييرات تمكنها من أن تتلاءم مع ظروف عش جديد. وباستطاعة الخلايا الجذعية السرطانية أن تزيد من انتشارها وتكاثرها، وربما تجتاح النسج المجاورة أو تنتقل إلى مواضع بعيدة في الجسم.



استقلالية العش. تجعل الطفرة الخلايا الجذعية التي هي مؤهبة فعلا للخباثة مستقلة عن تأشير العش، مما يزيل جميع أشكال التحكم البيئي السوي الخاصة بالتجدد الذاتي والتكاثر في الخلايا الجذعية السرطانية.



طفرة التجدد الذاتي. إن الخلايا السليفة المؤهبة للخباثة، بوساطة طفرات جينية ورمية وُرثت عن خلايا جذعية والدية، تعاني طفرة إضافية تعيد إليها قدرتها على التجدد الذاتي. وما إن يحدث ذلك، حتى تصبح هذه الخلايا ذات مدى عمري غير محدود، وتمتلك أيضا القدرة على تكوين الورم فتغدو خلايا جذعية سرطانية.

(*) Possible Paths to Cancer

(1) niche signaling: تأشير صادر عن العش.

(التحرير)

تضييق الخناق على الخلايا الجذعية السرطانية(*)

لقد قادت تقنيات فرز الخلايا السرطانية الحية، وكذلك تقنيات تحديد فيما إذا كانت هذه الخلايا تمتلك القدرة على التجدد الذاتي، إلى التعرف الإيجابي للخلايا الجذعية السرطانية داخل مجموعات خلوية سرطانية كبيرة. وقد أوضحت أنماط السرطان المُجَدولة في الأسفل أن الخلايا الجذعية الخبيثة لديها القدرة على التجدد الذاتي، وأنها تستطيع أن تنشئ المزيج الكامل لأنماط الخلايا التي كانت توجد في الورم الأصل. وتعني هاتان الخاصتان أن بإمكان عدد ضئيل من الخلايا الجذعية السرطانية أن تجدد الورم بكامله؛ وبإمكانها أيضا أن تستكمل باستمرار مجموعتها (جمهرتها) الخلوية الأكثر ضخامة - حيث يكون معظم الخلايا غير مكوِّن للورم، وأن تعيد تشكيل السرطان الأصلي حتى لو تم تدمير معظم الورم أو كله. إن استئصال شأفة المرض سيتطلب إذًا معالجات تستهدف بنجاعة الخلايا الجذعية السرطانية.

نمط السرطان (السنة التي تم فيها تعرف الخلايا الجذعية السرطانية)
ابيضاض الدم النقوي المنشأ الحاد (1994)
ابيضاض الدم بأرومة اللمفاوية الحاد (1997)
ابيضاض الدم النقوي المزمن (1999)
الثدي (2003)
الورم النقوي المتعدد (2003)
الدماغ (2004)
البروستاته (الموثة) (2005)

المجال في المستقبل، أوضح من خلالها كيف تعرُّف خلايا جذعية سرطانية في ابيضاض الدم. وفي عام 2003 تعرّف <R. جونز> [في جامعة جونز هوپكنز] مجموعة من الخلايا الجذعية السرطانية في **الورم النقوي (الميليوم) المتعدد** multiple myeloma.

وفي وقت مبكر من العام نفسه (2003)، نشرت مجموعتنا [من جامعة ميتشگان في آن أربر] الدليل الأول على وجود الخلايا الجذعية السرطانية في الأورام الصلبة. فباغتراس مجموعات خلوية من أورام الثدي البشرية في الفئران، كان باستطاعتنا أن نؤكد أنه ليس لجميع خلايا سرطان الثدي البشرية القدرة نفسها على توليد نسيج ورمي جديد. كانت هنالك مجموعة صغيرة واحدة فقط من الخلايا قادرة على إعادة تخليق الورم الأصل في البيئة الجديدة. عندئذ قارنّا الطرز المظهرية، أو السمات الفيزيائية، لتلك الأورام الجديدة من عينات المرضى، فوجدنا أن سمات الأورام الجديدة تستعيد سمات الأصل. وتدل هذه النتيجة على استطاعة الخلايا المكونة للورم المغترسة أن تجدد نفسها وأن تنشئ أيضا جميع المجموعات الخلوية المكونة للورم المختلفة الموجودة في الورم الأصل، بما في ذلك الخلايا غير المكونة للورم.

لقد وثقت دراستنا صحة وجود هرمية خلوية (سلسلة من الخلايا) داخل سرطان الثدي تماثل تلك التي تم تعرفها في سرطانات الدم. ومنذ ذلك الحين، شهدت أبحاث بيولوجيا الخلايا الجذعية السرطانية توسعا هائلا، حيث تستمر المختبرات عبر العالم في العثور على مجموعات خلوية صغيرة مماثلة مكونة للورم في أشكال أخرى من السرطان. فمثلا في عام 2004، تعرف مختبر <P. ديركس> [من جامعة تورنتو] خلايا من أورام أولية في الجهاز العصبي المركزي للإنسان تمتلك القدرة على تجديد كامل الورم في الفئران. إضافة إلى ذلك، وجد هذا الباحث عددا كبيرا من الخلايا الجذعية السرطانية في واحد من أسرع أشكال سرطان الدماغ البشري نموا، ونعني بذلك **الورم الأرومي اللبي** medulloblastoma، وذلك إذا ما قورن بخلايا مكونة للورم أقل عددا بكثير، وتوجد في أنماط ورمية دماغية أقل ضراوة.

ويقدم أيضا حقل له صلة بأبحاث مكثفة حديثة دعما لطراز الخلايا الجذعية السرطانية. وتُظهر بيئة التأشير التي توجد بها الأورام أنها تؤثر بقوة في استهلال الخباثة وبقائها. وفعلا أثبتت الدراسات على خلايا الجسم السوية، وكذلك على الخلايا الجذعية، الدور الأساسي للإشارات الصادرة عن النسيج المحيط، وعن **المطرس**[1] **خارج الخلايا** extracellular matrix، في الإبقاء على هوية نمط خلوي معين وفي توجيه سلوكه. فمثلا، تميل الخلايا السوية التي أزيلت من بيئتها الطبيعية في الجسم إلى فقدان بعض خصائصها الوظيفية التمايزية. وبالمغايرة، فإنه يتعين زرع الخلايا الجذعية في وسط يزودها بإشارات تنبئها بالبقاء في حالة غير متمايزة، وإلاّ فإنها ستشرع بسرعة في التكاثر والتمايز في ما يبدو أنه تعبير عن فقدانها لسلوكها المبرمج، وإشارات العش (البيئة المحيطة) هي وحدها التي تبقيها مقيدة.

وتكون بيئة الخلايا الجذعية في الجسم (على شكل غير محدد) محاطة بأنماط خلوية نوعية كالخلايا السَّدَوية التي تكون النسيج الضام في نقي العظم. وبصرف النظر عن استثناءات قليلة، فإن الخلايا الجذعية تبقى دائما في العش وأحيانا تتصل فيزيائيا بها عن طريق جزيئات التصاق. ومن ناحية أخرى، تهاجر الخلايا السليفة مبتعدة عن العش، وغالبا ما تكون برفقة خلايا حارسة، حيث ستصبح أكثر تمايزا.

إن أهمية التأشير الصادر عن العش في الإبقاء على الخلايا الجذعية بحالة غير متمايزة، وفي الحفاظ عليها **هاجعة** quiescent حتى تتم دعوتها إلى إنتاج خلايا جديدة، توحي بأنه يمكن لهذه الإشارات البيئية الموضعية أن تمارس ضبطا تنظيميا مماثلا على الخلايا الجذعية السرطانية. فمثلا، أوضحت تجارب مثيرة للاهتمام أنه عند زرعها في بيئة جديدة فإن الخلايا الجذعية المؤهبة للخباثة (للسرطنة) بسبب الطفرات الورمية، تفشل رغم ذلك في إنتاج ورم. وعلى العكس من ذلك فإن الخلايا الجذعية السوية التي اغترست في بيئة نسيجية سبق أن تضررت بالتشعيع كانت باعثا على تكوين أورام.

إن كثيرا من المسارات الجينية ذاتها التي تم تعرفها بالتأشير بين الخلايا الجذعية وبين عشها قد ترافقت مع السرطان، مما يوحي أيضا بوجود دور للعش في التحول النهائي إلى الخباثة. فمثلا، إذا ما احتجزت الخلايا الجذعية الخبيثة مقيدة في العش، ولكن تم بطريقة ما تحوير هذا العش وتوسيعه، فستجد جميعة الخلايا الجذعية

(*) Cornering Cancer Stem Cells

(1) المطرس (الأمهة) خارج الخلايا: هو المادة بين الخلوية؛ أي التي تحيط بالخلايا في بعض النسج. وتفرز هذه المادة الخلية نفسها - أو مجموعة الخلايا. والأمّهة matrix نحت من الأم mater، وx تفيد تأكيد التأنيث. (التحرير)

الخبيثة متسعا تنمو فيه. وهناك احتمال آخر في أن طفرات جينية ورمية معينة داخل الخلايا الجذعية السرطانية سمحت لهذه الخلايا بالتلاؤم مع عش مختلف، ومرة ثانية تتركها تزيد في أعدادها وتوسع حيز وجودها. ويبقى بديل ثالث يتمثل في احتمال أن تكون الطفرات قد سمحت للخلايا الجذعية السرطانية أن تصبح مستقلة كليا عن إشارات العش كافة، لاغية أشكال الضبط البيئي على كلٍّ من التجدد الذاتي والتكاثر.

تقارب الاتجاهات(*)

إن تضمينات طراز الخلايا الجذعية للسرطان في ما يتعلق بالطريقة التي نفهم بها ونعالج أيضا وفقا لها الخباثات جلية ودرامية. وتستهدف المعالجات الحالية أنواع الخلايا الورمية جميعها، ولكن دراستنا ودراسات أخرى أوضحت أن جزءا ضئيلا فقط من الخلايا السرطانية لديه القدرة على إعادة الإنشاء وعلى دوام الخباثة. وإذا كانت المعالجات التقليدية تسبب انكماش الورم ولكنها تخطئ تلك الخلايا، فإن السرطان سيعود على الأرجح. أمّا المعالجات التي تستهدف نوعيا الخلايا السرطانية الجذعية فقد تدمر المحرك الدافع للمرض، تاركا أيا من الخلايا المتبقية غير المكونة للورم لتموت في النهاية موتا ذاتيا.

إن تدمير المحرك الدافع للمرض يعني ترك الخلايا غير المكونة للورم تموت ذاتيا.

وفي الممارسة الطبية يوجد فعلا دليل ظرفي يدعم هذه المقاربة. فمثلا، بعد إجراء المعالجة الكيميائية لسرطان الخصية، يُفحص ورم المريض لتقييم تأثير المعالجة. فإذا ما احتوى الورم على خلايا ناضجة فقط، فإن السرطان عادة لا يعود، ولن تكون هنالك حاجة إلى معالجات إضافية. أمّا إذا كان هنالك عدد كبير من الخلايا التي تبدو غير ناضجة - أي إنها ليست متمايزة تماما - موجود في عينة الورم، فإن السرطان سيعود على الأرجح، وأن الإجرائية (البروتوكول) المعيارية تستدعي معالجة كيميائية إضافية. ولكننا مازلنا نفتقر إلى البرهان على أن هذه الخلايا غير الناضجة هي نسل حديث يدل على وجود خلايا جذعية سرطانية. ولكن ترافق هذه الخلايا مع التكهن بالمرض أمر واجب.

بيد أنه لا يمكن تعرف الخلايا الجذعية بناء على مظهرها فقط. لذا، فإن تطوير فهم أفضل للخصائص النوعية المتفردة للخلايا الجذعية السرطانية سيتطلب في المقام الأول تقنيات محسنة لعزل هذه الخلايا النادرة ودراستها. وما إن نفهم الخصائص المميزة لها، يمكننا استعمال هذه المعلومات لاستهداف الخلايا الجذعية السرطانية بمعالجات صُممت لها خصوصا. وإذا كان على العلماء مثلا أن يكتشفوا الطفرة أو العامل البيئي المسؤول عن منح القدرة على التجدد الذاتي لنمط خاص من الخلايا الجذعية السرطانية، فإن ذلك سيصبح هدفا واضحا لتجريد تلك الخلايا المكونة للورم من خباثتها.

وقد تم إيضاح هذه الاستراتيجية الواعدة بأمثلة مشجعة قدمها كل من <C.T.> جوردان> و <M.L.> گوزمان> [من جامعة روشستر]. ففي عام 2002، تعرف هذان الباحثان سمات جزيئية متفردة لخلايا جذعية سرطانية يُعتقد أنها تسبب ابيضاض الدم النقوي الحاد acute myeloid leukemia (AML)، وأوضحا أنه بالإمكان استهداف الخلايا الجذعية السرطانية استهدافا تفضيليا بعقاقير نوعية. وفي عام 2005، نشرا اكتشافهما مركبا مشتقا من نبات الأقحوان feverfew، يستحث الخلايا الجذعية المصابة بالابيضاض AML على الانتحار، في حين أنها لا تؤثر في الخلايا الجذعية السوية.

وتأمل بعض المجموعات البحثية في تدريب الخلايا المناعية لتتعرف الخلايا السرطانية وتسعى إليها. كما أن بعضها الآخر يستكشف استعمال العقاقير الموجودة لتحوير تأشير العش (البيئة) على أمل حرمان الخلايا الجذعية السرطانية من العوامل التي تساعدها على النماء. وإضافة إلى ذلك، هنالك فكرة هي حاليا قيد الاستقصاء، تتمثل في إمكان تطوير عقاقير لإجبار الخلايا الجذعية السرطانية على التمايز، وهذا يجردها من القدرة على التجدد الذاتي.

ويتمثل الأمر الأكثر أهمية في أن الباحثين في نطاق السرطان هم حاليا في عنق قارورة الارتياب. فبمقاربات تضامية[1] غرضها استهداف مسارات جينية وحيدة في حفاظها على الخلايا الجذعية السرطانية، وفي تعطيلها للّغة المتبادلة بين الخلايا الورمية وبيئتها، نأمل أن نستطيع في القريب العاجل العثور على المتهم الحقيقي في السرطان وكبح نشاطه. ■

(*) Closing in

(1) combination

المؤلفان

Michael F.Clarke - Micheal W. Becker

عملا معا في مختبر <كلارك> بجامعة ميتشيگان، حيث تم عام 2003 - أول مرة - عزل الخلايا الجذعية لورم الثدي. و<كلارك> هو حاليا مدير مساعد وكذلك أستاذ بيولوجيا السرطان والطب في معهد ستانفورد للخلايا الجذعية والطب التجديدي (التخليقي). ويستمر في عمله على تعرف الخلايا الجذعية السرطانية وعلى الآليات التي تتجدد وفقا لها هذه الخلايا وكذلك الخلايا الجذعية السوية. وأما <بيكر> فهو أستاذ مساعد في قسم علم الدم وعلم الأورام في المركز الطبي التابع لجامعة روشستر. إن بؤرة أبحاث <بيكر> هي تعرف خصائص الخلايا الجذعية لابيضاض الدم، وتتركز أعماله السريرية (الإكلينيكية) على الدم السطحي (المحيطي) peripheral وعلى اغتراس نقي العظم.

مراجع للاستزادة

The Reversal of Tumor Growth. Armin C. Braun in *Scientific American*, Vol. 213, No. 5, pages 75–83; November 1965.

The Proteus Effect: Stem Cells and Their Promise for Medicine. Ann B. Parson. Joseph Henry Press, 2004.

Context, Tissue Plasticity, and Cancer: Are Tumor Stem Cells Also Regulated by the Microenvironment? Mina J. Bissell and Mark A. LaBarge in *Cancer Cell*, Vol. 7, pages 17–23; January 2005.

Leukaemia Stem Cells and the Evolution of Cancer-Stem-Cell Research. Brian J. P. Huntly and D. Gary Gilliland in *Nature Reviews Cancer*, Vol. 5, No. 4, pages 311–321; April 2005.

Stem Cells and Cancer: Two Faces of Eve. Michael F. Clarke and Margaret Fuller in *Cell*, Vol. 124, pages 1111–1115; March 24, 2006.

Scientific American, July 2006

خوض في الفضلات(*)

نتيجة للتنمية العمرانية غير المُدققة على طول السواحل الأمريكية، يتزايد تلوث الشواطئ ومهاد(1) المحار بالميكروبات المُمرضة(2).

<M. A. مالين>

طالما جذبت السواحلُ الأمريكية المتعرجة الرائعة السكانَ في هذا البلد. ولعل أبلغ وصف لهذه الجاذبية التي لا تقاوم هو وصف <H. ميلفيل> في مقدمة رواية «موبي ديك»: «لن يرضيهم شيء إلا الوصول إلى أقصى حدود الأرض... فلابد أن يقتربوا من المياه بقدر ما يمكنهم من دون أن يسقطوا فيها.» وفي السنوات الأخيرة، انتقل ملايين الأمريكيين إلى المناطق الساحلية، وبخاصة في الجنوب الشرقي، للتمتع بمناخها المنعش وفرص الترويح التي تتيحها وجمالها الطبيعي. ومن المؤسف أن حركة التنمية العمرانية السريعة التي تفتقر إلى التخطيط الجيد تفسد هذا الجمال إلى حد كبير: لقد تسببت أحياء ميكروبية(3) مُمرِضة مصدرها فضلات الحيوانات والناس في تلوث أعداد متزايدة من الشواطئ ومهاد المحار على طول الساحل.

وطبقا لتقرير صدر حديثا عن مجلس الدفاع عن الموارد الطبيعية، أصدرت الولايات الساحلية، في عام 2004، أوامر بإغلاق الشواطئ وتحذيرات من التلوث استمرت لمدة 950 19 يوما وأثرت في 1234 من شواطئ المحيطات والمياه العذبة، أو نحو ثلث العدد الإجمالي للشواطئ التي يرصدها موظفو الصحة بصورة منتظمة. وقد ارتفع العدد الكلي للأيام التي صدرت بشأنها إجراءات تنظيمية للشواطئ بنسبة 9 في المئة عما كان عليه في عام 2003 (الذي كان بدوره أعلى بنسبة 50 في المئة من العدد الإجمالي في عام 2002، مع أن هذه الزيادة الكبيرة كانت ترجع في جانب منها إلى تغيير قواعد الرصد الفدرالية). وكان السبب في إصدار 85 في المئة من أوامر الإغلاق والتحذيرات من التلوث هو اكتشاف أعداد زائدة من بكتيرات(4) البراز في مياه الشواطئ.

وعند انتقالها في اتجاه أدنى المجرى مع فضلات الحيوانات في مياه سيل من الأمطار الغزيرة الجارية فوق سطح الأرض أو مع فضلات الإنسان في طفح المجاري والمواد المتسربة من خزانات التعفين، فإن الميكروبات المحمولة بالمياه قد تسبب أمراض الكبد وعداوى (أخماج) الجهاز التنفسي والاضطرابات المعديّة المعويّة التي قد تؤدي إلى الوفاة. وتشيع هذه الأمراض في بلدان العالم الثالث بسبب سوء الصرف الصحي؛ أما في الولايات المتحدة فتنشأ المشكلة عن التنمية العمرانية التي تفتقر إلى الحكمة وليس عن الفقر. فإنشاء العديد من البيوت والطرق ومراكز التسوق ومواقف السيارات أضر بنظم الصرف الطبيعية في المناطق الساحلية، كما أن الفضلات التي كانت تقوم بتنقيتها في الماضي الغابات أو الأراضي الرطبة(5) صارت حاليا تلوث مراسي السفن والشواطئ بشكل منتظم.

كيف يتسنى للولايات والمجتمعات الساحلية إذًا أن تحد من التلوث الميكروبي؟ لقد أدت هذه المسألة إلى صراعات بين شركات المقاولات والسياسيين من أنصار التنمية من جهة، والسلطات التنظيمية وصائدي المحار للأغراض التجارية والترويحية وهواة ركوب الأمواج والسباحة والغوص وأنصار الحفاظ على البيئة من جهة أخرى. ومن حسن الحظ، أنه تتوافر بعض الحلول المبتكرة لهذه المشكلة؛ إذ يمكن من خلال استراتيجيات «التنمية الذكية» إعادة تأهيل الشواطئ الملوثة مع تحقيق فوائد اقتصادية في الوقت نفسه. ونظرا إلى أن الإغلاق المتكرر للشواطئ يمكن أن يقلص من حركة السياحة ويؤدي إلى انخفاض أسعار العقارات، فإن تطبيق ضوابط معقولة للتنمية العمرانية للمناطق الساحلية يمكن أن يعزز اقتصاد المناطق الساحلية وأن يحقق بنفس القدر الحماية للصحة العامة.

نظرة إجمالية/ التلوث الميكروبي(**)

- بسبب ازدهار حركة التنمية العمرانية في المناطق الساحلية بالولايات المتحدة، صار جزء كبير من المنطقة القريبة من الساحل مغطى بسطوح كتيمة(6)، كمواقف السيارات والطرق والأرصفة. وعندما تسقط الأمطار فإنه يمكن لمياه السيول المتدفقة فوق هذه السطوح أن تحمل معها براز الحيوانات والميكروبات المصاحبة له إلى قنوات الصرف التي تؤدي مباشرة إلى البحيرات والأنهار والشواطئ.
- التلوث ببكتيرات البراز هو السبب الرئيسي في إغلاق الشواطئ وإصدار التحذيرات التي تؤثر حاليا في ثلث مجمل شواطئ البلد التي يتم رصدها. كما تهاجم الميكروبات الخطرة بصورة وبائية مراسي السفن والخيران المدّية(7) ومهاد المحار.
- لمكافحة التلوث الميكروبي، تستطيع المجتمعات الساحلية تشجيع الحفاظ على المساحات الخضراء، وتركيب المرشحات في مصارف مياه الأمطار، وحظر إنشاء خزانات التعفين(8) في المناطق ذات التربة المسامية.

(*) WADING IN WASTE
(**) Overview/ Microbial Pollution
(1) beds: ج: مهد، مكان النمو.
(2) المسببة للأمراض.
(3) microorganisms أو مجهرية.
(4) جمع بكتيرة.
(5) wetlands
(6) impervious: لا ينفذ منها الماء.
(7) tidal creeks: ج: خور، أو خليج صغير.
(8) septic tanks

تتعرض صحة رواد الشواطئ وصائدي المحار في الولايات المتحدة للخطر من بكتيرات البراز[1] مصدرها فضلات الإنسان والحيوان، إذ تنتقل الميكروبات الممرضة، مثل الإشريكية القولونية، من مناطق التوسع العمراني التجارية والسكنية إلى المياه الساحلية بوساطة مياه الأمطار الجارية القادمة من تلك المناطق وعن طريق التسرب من نظم خزانات التعفين المبنية في أمكنة غير ملائمة.

ازدهار السواحل[*]

ذكرت الإدارة الوطنية لشؤون المحيطات والغلاف الجوي في تقريرها عن الاتجاهات الساحلية[2] في عام 2004، أن 153 مليون أمريكي - أو 53 في المئة من سكان البلد - يعيشون في المقاطعات التي تحدها سواحل المحيط والبحيرات العظمى والتي تشكل 17 في المئة فقط من مساحة الأراضي القارية في الولايات المتحدة [*انظر الإطار في الصفحة 33*]. والأدهى من ذلك أن هناك سبعة ملايين شخص آخرين يتوقع انضمامهم إلى سكان السواحل بحلول عام 2008، ويزداد العدد الإجمالي موسميا بسبب الأعداد الهائلة من المصطافين. لقد تحولت مساحات شاسعة كانت في الماضي غابات أو مزارع إلى منتجعات وتقسيمات من الأراضي المخصصة للأغراض السكنية ومحلات تجارية ومطاعم ومجمعات إدارية وأراض للأغراض الصناعية ممتدة على طول الشاطئ. وفي غمار ذلك، تقوم شركات الإنشاء بتجفيف الأراضي الرطبة وتغطية أراضي، كانت تكسوها الخضرة في الماضي، بالأسفلت والخرسانة والمواد المستخدمة في بناء المساكن.

والمنظر الطبيعي الناتج من ذلك تغلب عليه السطوح الكتيمة كمواقف السيارات والطرق والأرصفة وأسقف المباني ومواقع الإنشاء المكدسة بالمعدات الثقيلة التي لا تسمح بتخلل المياه فيها. وعند هطول الأمطار، تتدفق مياه السيل من تلك الأمطار فوق هذه السطوح وتجرف في طريقها روث الحيوانات والملوثات الأخرى ليلقى بها في مجاري الصرف أو مصارف مياه الأمطار، التي يؤدي الكثير منها مباشرة إلى البحيرات الحضرية[3] أو الخيران (الخلجان الصغيرة) أو الساحلية أو الشواطئ. وفيما تعمل محطات معالجة مياه المجاري على التخلص من البكتيرات والملوثات الضارة الأخرى الناشئة عن الصرف، فإن مياه السيل الجارية على السطح لا تعالج عادة. ونظرا إلى أن هذه المياه تأتي من مساحة واسعة وليس من مصدر واحد، فإنها تصنف كمصدر تلوث غير ثابت. وقد أعلنت وكالة حماية البيئة أن هذا النوع من التلوث هو أهم الأسباب المتبقية للمشكلات المتعلقة بجودة المياه في الولايات المتحدة.

وتحمل مياه السيول الجارية الأسمدة ومبيدات الآفات والمعادن النزرة[4] والكيمياويات، ولكن الخطر الأكبر على صحة الإنسان يأتي من الميكروبات الممرضة: بكتيرات وڤيروسات وبرزوبيات[5] البراز؛ إذ يقدّر أن غراما واحدا من براز الكلب، مثلا، يحتوي على عدد يصل إلى ثلاثة وعشرين مليون بكتيرة. (وبالنسبة إلى أنواع معينة من البكتيرات الخطرة، فإنه يمكن لعدد ضئيل يصل إلى عشرة فقط من هذه الكائنات الحية أن يتسبب في الإصابة بالعدوى). وتتلقى مستجمعات مياه الأمطار في المناطق العمرانية والضواحي دفقا ثابتا من روث الحيوانات المنزلية كالكلاب والقطط ومن الحيوانات البرية كالراكون والسنجاب. وفي المناطق المزروعة، تتسرب مياه الأمطار والمياه الجارية على السطح خلال التربة، ويؤدي ذلك إلى تنقية المياه من بكتيرات البراز والڤيروسات، ومن ملوثات أخرى كثيرة. وخلافا لذلك، فإن السطوح الكتيمة تتسبب

(*) The Coastal Boom
(1) الناشئة عن البراز.
(2) Coastal Trends Report
(3) urban
(4) heavy metals
(5) أو الأوالي أو الحيوانات الوحيدة الخلية. (التحرير)

في تراكم الملوثات أثناء فترات الجفاف وتدفق تركيزات عالية من الملوثات مع مجرى المياه عندما تهطل الأمطار.

وتصبح المشكلة مثيرة للقلق بشكل خاص على طول الساحل لأن الميكروبات تلوث مهاد المحار والمناطق المستخدمة للترويح. والمحار من الكائنات التي تتغذى باستخلاص غذائها من المياه بالترشيح، أي إنه يصفي من جسمه كميات كبيرة من مياه البحر لتركيز المواد الغذائية كالطحالب المجهرية. ولكنه في الوقت نفسه يركز الكائنات الضّارة الموجودة في المياه. وإذا أكل الإنسان محارا نيئا أو غير مطبوخ طبخا جيدا، وكان تم استخراجه من مياه ملوثة بميكروبات البراز، فإنه يعرض نفسه لخطر الإصابة بالتهاب المعدة والمعى (وهو مرض من أعراضه القيء والإسهال وآلام المعدة) وأمراض قاتلة أكثر حدة.

ولحماية مستهلكي المحار، يُطلب إلى الوكالات الحكومية وضع لافتات في مهاد المحار الملوثة لإعلام الجمهور أن صيد البطلينوس (أم الخلول) أو بلح البحر أو محار الجندفلي في هذه المناطق مخالف للقانون. وقد وضعت دائرة الصحة العامة بالولايات المتحدة معيارا وطنيا لسلامة مهاد المحار باستخدام مقاييس لبكتيرات البراز القولونية، وهي فئة عريضة من الأحياء الميكروية توجد في أمعاء الإنسان والحيوان. فلا يجوز صيد المحار من المنطقة إذا زاد الوسط الهندسي[1] لعدد البكتيرات في 30 مجموعة من العينات على 14 وحدة من الوحدات المكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر من مياه البحر. وفي عام 1995، وهو آخر عام أعدت فيه الإدارة الوطنية لشؤون المحيطات والغلاف الجوي سجلا وطنيا للمحار[2]، كان صيد المحار مقيدا أو محظورا في 31 في المئة من أمكنة نمو المحار في الدولة. وقد ذكرت الإدارة في تقرير رسمي لها أن مياه السيل الجارية في المناطق العمرانية هي أكثر مصادر التلوث التي تغزو مهاد المحار.

وفي الآونة الأخيرة، قام المختبر الذي أعمل به في جامعة نورث كارولينا، بتحليل بيانات واردة من خمس مقاطعات ساحلية بولاية نورث كارولينا واكتشف وجود ارتباط قوي بين الزيادة في عدد السكان وإغلاق مهاد المحار. ففي عام 1984، عندما بلغ عدد السكان في المقاطعات الخمس 125 352 نسمة، تم إغلاق 275 35 فدانا من المياه التي يعيش فيها المحار. وبحلول عام 2003، ارتفع عدد سكان المقاطعات الخمس مجتمعة إلى 596 501 نسمة وبلغت المساحة المغلقة 304 42 فدادين.

ويشكل التلوث الميكروبي أيضا خطرا شديدا على الأشخاص المشتغلين بالأنشطة الترويحية الشائعة، كالسباحة وركوب الأمواج والخوض في المياه والغطس والغوص بالأنبوب والتزلج على المياه ورياضة الزوارق. وإذا لوثت الكائنات الحية الموجودة في البراز بحيرة أو نهرا أو شاطئ بحر، يصبح أي شخص في المياه عرضة للإصابة بالعدوى من الميكروبات التي تدخل من خلال الفم أو الأنف أو العينين أو الجروح غير الملتئمة. ومن الأمراض التي تتسبب فيها ملامسة المياه: التهاب المعدة والمعى والتهاب ملتحمة العين والتهاب النسيج الخلوي (تهيج البشرة، كالحكة التي يصاب بها السباحون)، والتهابات الأذن والجهاز التنفسي، وأمراض أكثر خطورة كالتهاب الكبد ومتلازمة جيلان-باريه، وهي خلل التهابي يصيب الأعصاب الطرفية ويمكن أن يؤدي إلى الشلل. ومن أنواع البكتيرات التي يحملها المياه والتي يمكن أن تتسبب في هذه المشكلات الصحية **الإشريكية القولونية** Escherichia coli و**المطثيات الحاطمة** Clostridium perfringens وأنواع مختلفة من **المكورات المعوية** Enterococcus و**الأيرومونس** Aeromonas و**البكتيرات الحلزونية (الكامبيلوباكتر)** Campylobacter و**السلمونلة** Salmonella و**الشيگلة** Shigella و**اليرسينيا** Yersinia. ومن الفيروسات الكثيرة التي تحملها المياه وتتسبب في الأمراض فيروس الالتهاب الكبدي A ونورووك Norwalk. وتشمل البرزويات المُمرِضة داء **البويغات الخفي** Cryptosporidium و**الأميبة الباطنة** Entamoeba و**الجيارديا** Giardia.

لا تشرب هذه المياه(*)

في السنوات الأخيرة، تسبب كثير من هذه الميكروبات في تفشي أمراض خطيرة في الولايات المتحدة وكندا. ففي عام 1993، أصابت برزويّات داء البويغات الخفي مياه شبكة الشرب في ميلووكي بالعدوى، وأدى ذلك إلى وفاة أكثر من مئة شخص وإصابة 000 400 شخص بالأمراض. وفي عام 1999، نتجت من تفشي الإشريكية القولونية والبكتيرات الحلزونية (الكامبيلوباكتر) حالتا وفاة و 116 إصابة بالأمراض بين زوار المعرض في مقاطعة واشنطن بنيويورك بعد أن شربوا مياه سيل ملوثة مصدرها مخزن غلال للماشية. وفي عام 2000، وقع سكان ووكرتون في أونتاريو ضحية لعدوى بالإشريكية القولونية والبكتيرة الحلزونية تسببت في إصابة 2300 شخص بأمراض وحدوث سبع وفيات، معظمهم من كبار السن والأطفال الرضع. ومرة أخرى تم تتبع التلوث حتى مصدره وهي مياه سيل محملة بالميكروبات تدفقت من مخزن علف للماشية ودخلت إلى مأخذ إمداد مياه الشرب في المدينة.

ويقوم موظفو الصحة بقياس تركيزات مؤشرات بكتيرية متنوعة لتقييم الخطر الناتج من الكائنات الممرضة التي تحملها المياه، وبخاصة في جوار الشواطئ. وعندما ترتفع أعداد البكتيرات فوق حد معين، تصدر السلطات تحذيرات من تلوث المياه أو تغلق الشواطئ أمام السباحة والأنشطة الترويحية الأخرى. وتوصي وكالة حماية البيئة بأن تستخدم الولايات بكتيرات المكورات المعوية كمؤشر لسلامة مياه المحيط والخلجان[3]. وبموجب معايير وكالة حماية البيئة، تعتبر مياه البحر غير مأمونة إذا زاد الوسط الهندسي لخمس عينات من المكورات المعوية جمعت في

يرجع السبب في 85 في المئة من أوامر إغلاق الشواطئ والتحذيرات بشأنها إلى اكتشاف أعداد كبيرة من بكتيرات البراز.

(*) Don't Drink the Water

(1) geomatic mean: هو نوع من المتوسطات يحدُّ من تأثير القيم المتطرفة.

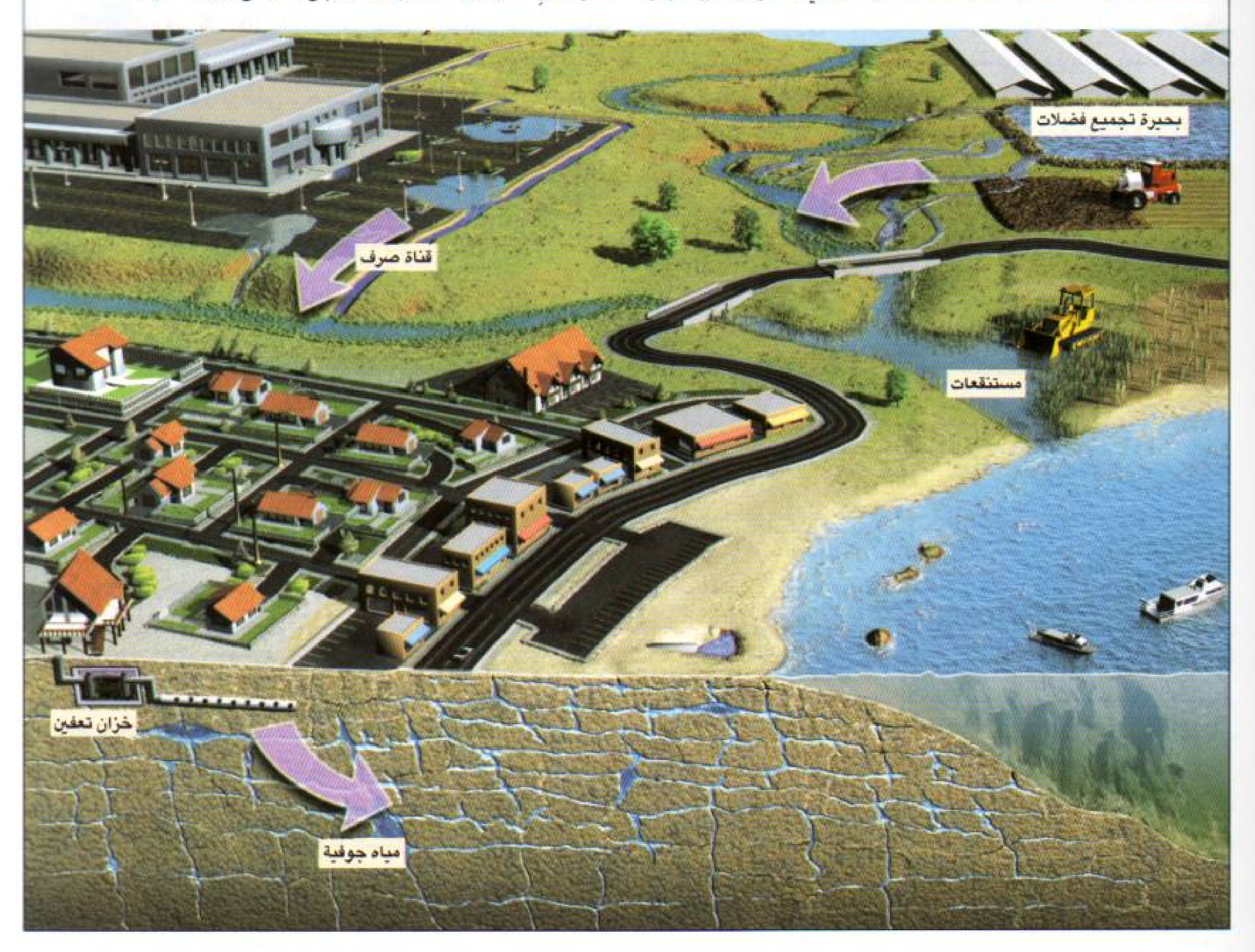
(2) national shellfish register

(3) bays

(التحرير)

انتقال ميكروبات البراز(*)

إن سوء التخطيط العمراني هو السبب الرئيسي للتلوث الميكروبي في المناطق الساحلية. وعلى سبيل المثال، فإن غالبية مراكز التسوق محاطة بمساحات كبيرة من مواقف السيارات التي توجّه مياه السيول الجارية المحملة بالفضلات إلى قنوات الصرف. وفي كثير من المناطق العمرانية السكنية الساحلية، تتدفق مياه المجاري المندفعة من خزانات التعفين عبر طبقات من الحجر الجيري المشقق أو التربة الرملية مما يسمح بتسرب ميكروبات البراز إلى المياه الجوفية. وعادة ما تؤدي عمليات تربية الماشية الواسعة النطاق إلى نشر روث الحيوانات في الحقول أو تخزينه في أحواض خاصة؛ وقد تجرف الأمطار الغزيرة هذه الفضلات إلى الأنهار القريبة. وغالبا ما تدمر عمليات الإنشاء الجديدة الأراضي الرطبة التي تقوم بتنقية المياه من الكائنات الحية المُمْرِضة قبل أن تتمكن من الوصول إلى الشواطئ ومهاد المحار.



30 يوما على 35 وحدة مكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر أو إذا زادت أي عينة فردية عن 104 وحدات مكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر. وفي المياه العذبة تصل الحدود التي قررتها وكالة حماية البيئة لمتوسط التركيزات إلى 33 وحدة مكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر فيما يتعلق بالمكورات المعوية وإلى 126 وحدة مكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر فيما يتعلق بالإشريكية القولونية. ولكن هذه المعايير ربما تتسم بقدر مبالغ فيه من التساهل. وقد قدرت وكالة حماية البيئة أن السباحة في وجود الحد الأقصى للأعداد المقبولة سوف تتسبب في إمراض 2 في المئة من المستحمين.

أعلى الخور(**)

درس الباحثون الأضرار البيئية الناتجة من التغطية بالسطوح الكتيمة منذ أواخر الثمانينات، ولكن المختبر الذي أعمل به كان أول من درس تأثيرها في أعداد بكتيرات البراز. وتركزت دراستنا على مقاطعة نيو هانوفر وهي منطقة سريعة النمو في نورث كارولينا. ففيما بين عامي 1990 و 2000 زاد عدد السكان في المقاطعة بنسبة 25 في المئة، ومن المتوقع أن يزيد هذا العدد أيضا بنسبة 31 في المئة بحلول عام 2020. وفي العقد الماضي، قام فريق البحث التابع لي بدراسة جودة المياه في ستة خيران مدّية في مناطق تتجه نحو التحضر العمراني في المقاطعة. وقمنا بتحليل أكثر من 1000 عينة من بكتيرات البراز القولونية والإشريكية القولونية أُخذت من جميع مناطق الخيران، وبحثنا عن ارتباطات بين أعداد البكتيرات والسمات المختلفة لمستجمعات مياه الخيران من حيث ديموغرافيتها[1] ومناظرها الطبيعية.

وقد وجدنا أن متوسط أعداد بكتيرات البراز القولونية كان أعلى بشكل عام في الخيران التي يعيش حولها عدد أكبر من الأشخاص والتي توجد حول مستجمعاتها

(*) FECAL MICROBES ON THE MOVE

(**) Up the Creek

(1) الكثافة السكانية فيها.

المائية نسبة مئوية أعلى من الأراضي العمرانية. ولكن أعداد البكتيرات كانت ترتبط ارتباطا قويا بانتشار السطوح الكتيمة. ففي خور فاتش ـ حيث تغطي السطوح الكتيمة 7 في المئة فقط من الأراضي ـ كان متوسط عدد البكتيرات القولونية 12 وحدة مكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر، في حين وصل العدد إلى أكثر من سبعة أضعاف هذه القيمة في خور برادلي ـ حيث يغطي الأسفلت والخرسانة 22 في المئة من مستجمعات المياه [*انظر الإطار في الصفحة 34*]. كما كان الارتباط قويا جدا بين أعداد الإشريكية القولونية والنسبة المئوية للسطوح الكتيمة حول مستجمعات المياه. ولم تكن

والربط بالتربة يحمي البكتيرات من الأشعة فوق البنفسجية التي تقتل الكائنات الحية عادة. كما تستطيع البكتيرات الحصول على العناصر المغذيّة من مثل الكربون والنتروجين والفسفور من حبيبات التربة. ويمكن أن تجد الميكروبات وسائل انتقال عبر مسافات طويلة باتجاه مجرى المياه مع الرواسب. وفي دراستنا للخيران المدّية في مقاطعة نيو هانوفر، وجدنا ارتباطا مهما إلى درجة كبيرة بين العكارة (التكدر) ووفرة بكتيرات البراز القولونية. وأسفرت دراسات أخرى أجريت في خليج تشيسابيك (بغرب فلوريدا) وساحل البحر الأبيض المتوسط وأستراليا عن نتائج مماثلة.

الرمل ومياه الصرف الصحي لا يختلطان[*]

يمكن أن تسهم نظم الصرف الصحي الرديئة التصميم في الأقاليم الساحلية أيضا في التلوث الميكروبي. وفي المجتمعات المحلية التي يتم فيها تصريف مياه الأمطار في بالوعات الصرف، يمكن أن تتسبب الأمطار الغزيرة في تدفقات زائدة تلقي بمياه فضلات الإنسان غير المعالجة في الأنهار والبحيرات والخلجان. وتعالج بلديات كثيرة هذه المشكلة حاليا بالفصل بين شبكات المجاري ونظم صرف مياه الأمطار. ولكن ثمة مشكلة أخرى بدأت تظهر في المناطق الساحلية، حيث لا يجد السكان وصلات للصرف فيضطرون إلى

من الممكن أن تنتقل ميكروبات البراز القادمة من خزانات التعفين، في منطقة فلوريدا كيز في أقصى جنوب شبه جزيرة فلوريدا، إلى المياه الساحلية في غضون ساعات.

النتيجة التي توصلنا إليها مختلفة عما توصل إليه الآخرون. وفي وقت لاحق، أبلغ <A. F. هولاند> و<D. M. سانجر> وزملاؤهما [في مصلحة الموارد الطبيعية بساوث كارولينا] عن وجود ارتباط مهم بين أعداد بكتيرات البراز القولونية والمساحة المغطاة بالسطوح الكتيمة في المستجمعات المائية لاثنين وعشرين خورا مدّيا في المنطقة المحيطة بالعاصمة شارلستون.

وتشير هذه النتائج إلى أن مياه السيل القادمة من المناطق العمرانية قد يكون لها تأثير مضاعف في تركيزات البكتيرات في اتجاه مجرى المياه. فالتدفقات العالية بشكل غير عادي والقادمة من مواقف السيارات الكبيرة أو تقسيمات الأراضي قد تسبب حت (تآكل) قنوات الصرف وضفاف الأنهار، ومن ثم حمل الرواسب العالقة إلى المياه. كما أن هذه الرواسب تنجرف بسهولة من مواقع البناء، حيث تكون التربة قد تعرت من النباتات. وتغيّم الرواسب العالقة والجزيئات الأخرى المياه التي تستقبلها (ويطلق على درجات التغييم «العكارة»). والأدهى من ذلك أن الرواسب، وبخاصة الرواسب الطينية، يمكن ربطها فيزيائيا وكيميائيا بملوثات كالأمونيوم والفسفات والمعادن النزرة وبكتيرات البراز والفيروسات.

وتوافر الرواسب القاعية في المياه الساحلية الضحلة أيضا حوضا لتجميع بكتيرات البراز والميكروبات الأخرى. وقد وجد فريق بحث يرأسه <L. B. كاهون> [وهو زميلي في جامعة نورث كارولينا في ولنكتون] تركيزات عالية من الكائنات الحية المرضة ـ تشمل بكتيرات البراز القولونية و**المكورات المعوية** enterococci و**المكورات العقدية (البكتيرات السبحيّة)** streptococci في رواسب الخيران المدّية. وتستطيع الميكروبات البقاء فترات طويلة في الرواسب، لأنها تكون في مأمن من الأشعة فوق البنفسجية وتجد غذاءها بسهولة. ونظرا إلى ضحالة الخيران المدّية بشكل عام، فإن إثارة الرواسب الموجودة في القاع عند ملامسة الإنسان لها يمكن أن تؤدي إلى تعلق أعداد كافية من البكتيرات في المياه بما يتجاوز معايير السلامة. فمن السهل أن تتسبب حركة الرياح أو خوض الأطفال والحيوانات الأليفة في المياه في تلوث هذه المياه بمجرد ملامسة الأقدام للقاع الطيني للخور. وإضافة إلى ذلك، وجد الطلبة العاملون معنا تركيزات عالية من ميكروبات البراز في الرواسب القريبة من عدد من المراسي العامة للزوارق، وتوجد هذه المراسي في كل مكان وتستخدم بكثرة في الأقاليم الساحلية في الجنوب الشرقي.

إلقاء فضلاتهم في خزانات التعفين.

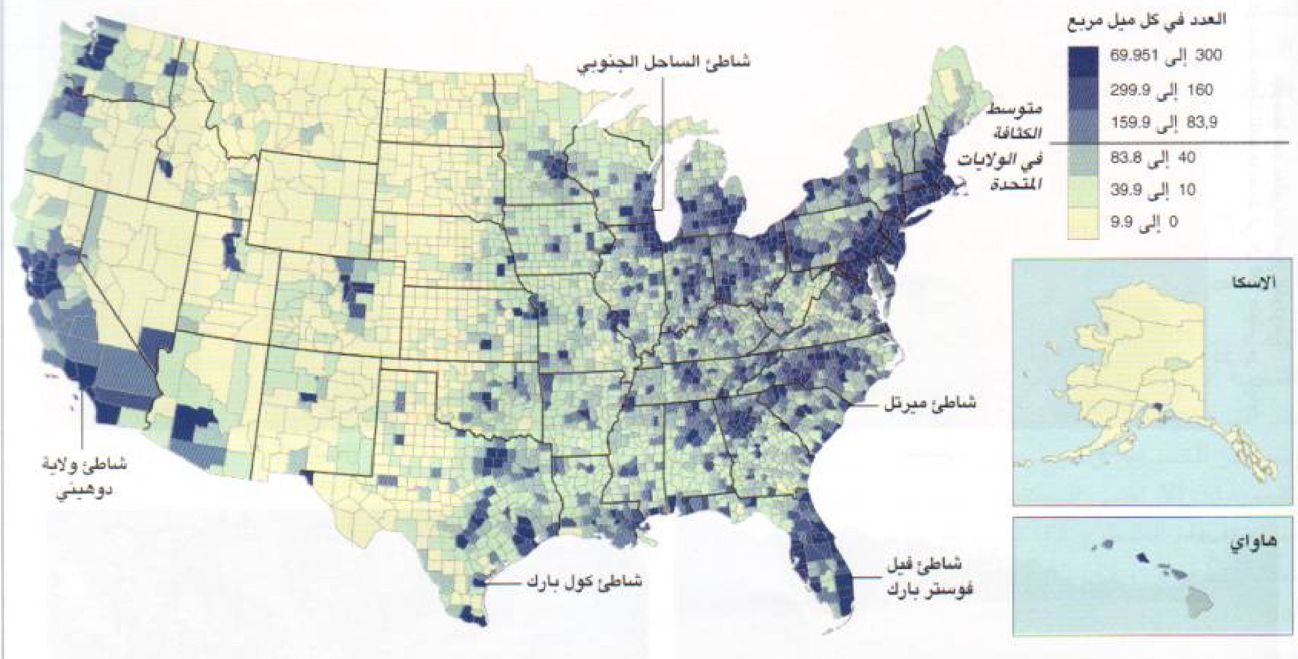
ومن هذه المناطق منطقة فلوريدا كيز التي يوجد بها أكثر من 000 25 خزان من خزانات التعفين. والشكل السائد لسطح الأرض في هذه المنطقة هو طبوغرافيا الكهوف ـ فالتربة تحت الأرض تتكون أساسا من الحجر الجيري، الذي تتخلله شقوق كثيرة وفجوات غائرة ناتجة من التحات. وهذا التكوين الجيولوجي شديد المسامية ولذلك فإنه لا يساعد على الترشيح الفعال لمياه الفضلات الغنيّة بالبكتيرات المتدفقة من خزانات التعفين. وفي عام 1995، وجد فريق بحث يترأسه <J. H. بول> و<J. B. روز> [من جامعة ساوث فلوريدا] أن ميكروبات البراز القادمة من نظم خزانات التعفين في منطقة فلوريدا كيز تنتقل بسهولة خلال التربة، ويمكن أن تصل إلى المياه الساحلية بالقرب من الشاطئ خلال ساعات.

ولا تقتصر المشكلة على منطقة فلوريدا كيز وحدها. فالتربة الرملية على طول الساحل تتخللها فضوات (أحياز) كبيرة نسبيا بين حبيبات الرمل. وعندما تتشبع هذه التربة بالمياه يمكن للبكتيرات والفيروسات أن تنتقل بسهولة خلالها. وعلى سبيل المثال، فإن المناطق التي تحتوي على تربة رملية ويرتفع فيها

(*) Sand and Sewage Don't Mix

الشواطئ الأمريكية الملوثة[*]

في الولايات المتحدة، إن أكثر الشواطئ والخلجان تلوثا تقع بشكل عام في المقاطعات الساحلية الكثيفة السكان. وقد أدى التلوث البكتيري إلى إغلاق المناطق الموضحة أدناه أو إصدار تحذيرات بشأنها في عام 2004 [آخر عام توافرت عنه السجلات على المستوى الوطني]. وكانت أعلى الأعداد المسجلة في كل شاطئ يزيد كثيرا عن معايير السلامة في فرادى العينات من *المكورات المعوية* و*الإشريكية القولونية*، حيث بلغت على التوالي 104 وحدات و235 وحدة مكونة للمستعمرات في كل 100 مليلتر.



موقع الشاطئ	نوع البكتيرات المقيس	أعلى عدد من الوحدات المكونة (للمستعمرات في كل 100 مليلتر)	عدد أيام الإغلاق والتحذيرات
شاطئ ولاية دوهيني مقاطعة أورانج، كاليفورنيا	*المكورات المعوية*	38.800	312
شاطئ فيل فوستر بارك مقاطعة بالم بيتش، فلوريدا	*المكورات المعوية*	600	108
شاطئ الساحل الجنوبي مقاطعة ميلووكي، ويسكونسن	*الإشريكيات القولونية*	2.419	72
شاطئ ميرتل مقاطعة هوري، ساوث كارولينا	*المكورات المعوية*	1.130	54
شاطئ كول بارك مقاطعة نويسيس، تكساس	*المكورات المعوية*	14.400	53

المصدر: مكتب الإحصاء (التعداد) الرسمي بالولايات المتحدة (*الخريطة*)؛ وكالة حماية البيئة الأمريكية؛ مجلس الدفاع عن الموارد الطبيعية؛ برنامج حماية مياه المحيط بمقاطعة أورانج؛ مكتب صحة الشواطئ بويسكونسن والأراضي العامة بتكساس (*الجدول*).

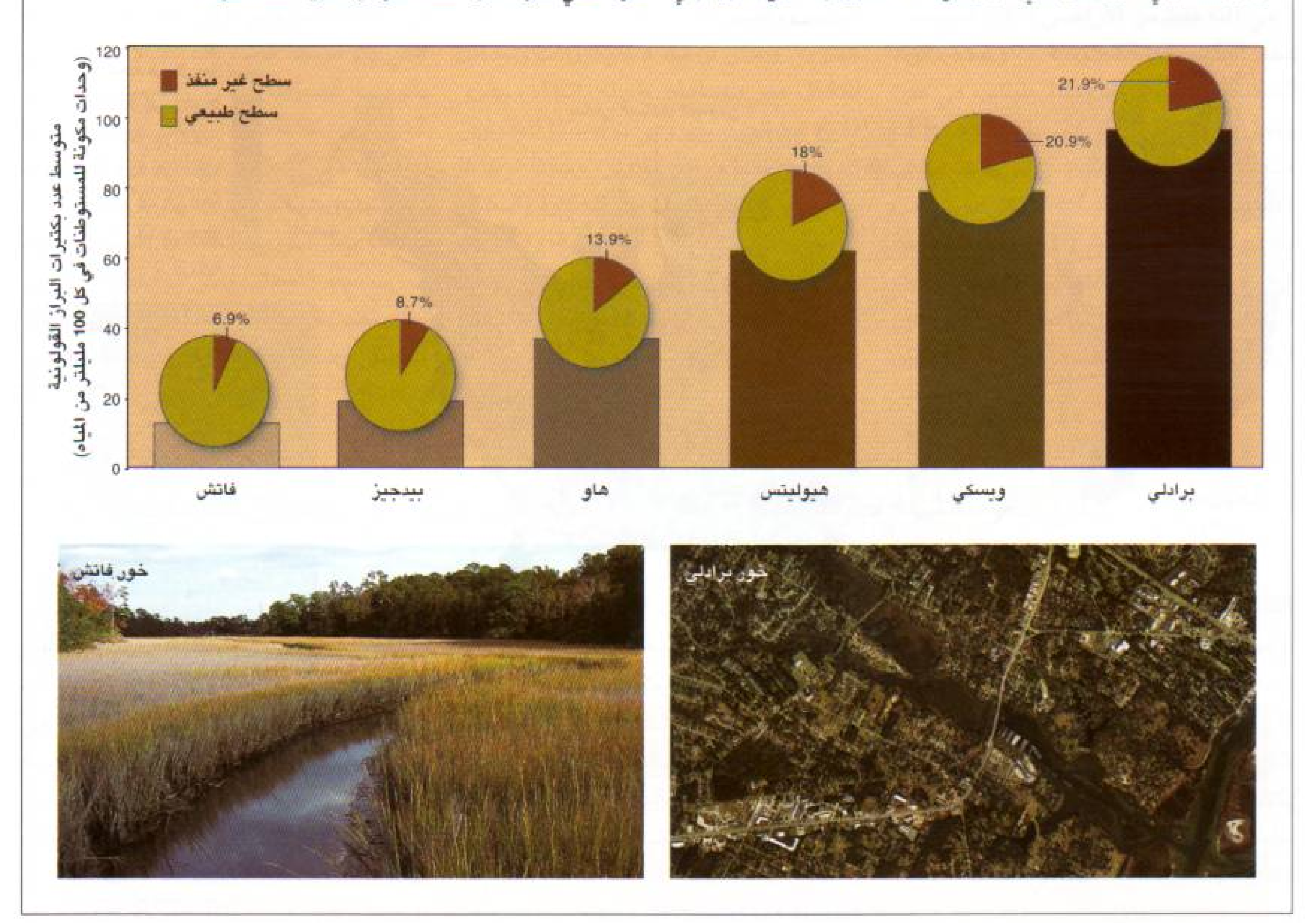
منسوب المياه الجوفية لا تناسب نظم خزانات التعفين، ومع ذلك فإن سوء التخطيط سمح بوجود هذه النظم في أقاليم ساحلية كثيرة سريعة النمو، تشمل بعض الجزر الرملية الحاجزة (العائقة) على طول سواحل الأطلسي وخليج[1] المكسيك. وفي دراسة عن جودة المياه في مقاطعة برونزويك في نورث كارولينا، التي يوجد بها كثير من خزانات التعفين في التربة الرملية (ويصل عددها إلى 20 خزانا في كل هكتار)، وجد <كاهون> أعدادا كبيرة من بكتيرات البراز القولونية الناشئة عن المواقع الكثيفة السكان في المياه العذبة ومياه البحر باتجاه مجرى المياه. والأدهى من ذلك، يبدو أن نظم القنوات وشبكات المجاري التي تخدم المناطق العمرانية تسهِّل، فيما يبدو، تصريف بكتيرات البراز في المياه القريبة، بما في ذلك مهاد (أمكنة نمو) المحار.

وقد حدد باحثون آخرون أنماطا مميزة لشدة التلوث الميكروبي، حيث توصلت <K .I. ليب> [التي تعمل في جامعة جورجيا] وزملاؤها إلى أن أعداد بكتيرات البراز في الخلجان والروافد، التي تطل عليها مجتمعات ساحل خليج فلوريدا كميناء شارلوت وخليج ساراسوتا، تزيد زيادة

(*) AMERICA'S SULLIED BEACHES
(1) Gulf

تأثيرات الخرسانة والأسفلت[*]

وجدت دراسة لستة خيران مدِّية في مقاطعة نيو هانوفر بنورث كارولينا ارتباطا قويا بين التلوث الميكروبي وانتشار السطوح الكتيمة، كمواقف السيارات والطرق والأرصفة. وفي خور فاتش الذي مازال على حالته الطبيعية الأولى نسبيا (في *اليسار*)، حيث تغطي السطوح الكتيمة أقل من 7 في المئة من مستجمع المياه، كان متوسط أعداد بكتيرات البراز القولونية أقل كثيرا منه في خور برادلي (*في اليمين*)، حيث تغطي الخرسانة والأسفلت أكثر من خمس المنطقة المحيطة.



حادة مع المد المتجه إلى الخارج. وتنتقل الميكروبات بسهولة خلال التربة المشبعة الرملية التي تحيط بحقول خزانات التعفين الكثيرة إلى الخيران القريبة لتنصرف في الخلجان. وهذا النمط لا يرتبط بالمد فحسب، بل يتغير بتغير الأحوال الجوية أيضا. واكتشف الباحثون أنه في السنوات المطيرة التي توافق حدوث ظاهرة النينيو المناخية تكون المياه في خليج تامبا أكثر تلوثا بدرجة كبيرة ببكتيرات البراز والڤيروسات منها في السنوات الجافة. وهذا التأثير هو نتيجة زيادة مياه السيول الجارية على السطح وحركة المياه الجوفية خلال التربة المشبعة حول خزانات التعفين الواقعة في أمكنة غير مناسبة.

وفي كاليفورنيا الجنوبية، حيث تتدفق كميات كبيرة من مياه السيول القادمة من المناطق العمرانية إلى المحيط الهادئ، وجدت <R. نوبل> [من جامعة نورث كارولينا في تشابل هيل] وزملاؤها أن امتداد خط الساحل الذي لا تنطبق عليه معايير السلامة كان أكبر عشرة أضعاف بعد هطول الأمطار مما كان عليه في فترات الجفاف. وعلى المستوى الوطني، تُغلق مهاد المحار بصورة آلية لعدة أيام أو أسابيع بعد هطول الأمطار، لأن هذه المناطق تكون عرضة للتلوث البكتيري من مياه السيول الجارية.

ولكن مياه السيول المتدفقة من المناطق العمرانية والمواد المتسربة من خزانات التعفين ليستا دائما المتهمين الرئيسيين بالتلوث الميكروبي. فالعامل الرئيسي في المناطق الريفية الساحلية التي يكون الصرف فيها في الجداول المائية هو الفضلات القادمة من مزارع الماشية. وفي السهل الساحلي[1] الممتد من ماريلاند إلى فلوريدا وفي بعض مناطق الساحل المطلة على الخليج، حلت محل معظم مزارع الماشية التقليدية منشآت صناعية عملاقة تربى فيها أعداد هائلة من الخنازير والدواجن والماشية في أمكنة محكمة الإغلاق. وتتخلص هذه المنشآت من كميات الروث الهائلة إما برشها كسائل أو نشرها كقمامة على الحقول القريبة. وإذا تم الرش أو النشر قبل وقت قصير من هبوب عاصفة مطيرة أو أثناءها، يمكن أن تنتقل ميكروبات البراز من الفضلات إلى الجداول القريبة عن طريق مياه السيول القادمة من البر.

(*) THE EFFECTS OF CONCRETE AND ASPHALT
(1) coastal plain

مستقبل أنظف[*]

من الواضح أنه لحماية مياه أمريكا الساحلية، يتعين على شركات المقاولات والبناء الإقلاع عن ممارساتها المدمرة الحالية - بما في ذلك قطع الأشجار والصرف في الأراضي الرطبة والاستخدام الواسع النطاق لمواد الرصف - والانتقال إلى استراتيجيات التنمية الذكية. ويجب على المصممين، عند التخطيط للمنتجعات الجديدة ومراكز التسوق والمجمعات الإدارية وتقسيمات الأراضي السكنية، الحد من استخدام السطوح الكتيمة وزيادة المساحات المزروعة بالنباتات. فالموقع الذي تكثر فيه المساحات الخضراء بين المساحات المرصوفة يقل فيه الجريان السطحي لمياه السيل، ذلك أن تغلغل المياه في التربة سوف يساعد على التخلص من كثير من المواد الملوثة المتدفقة من الأسفلت والخرسانة.

ويتعين بشكل خاص، المحافظة على الأراضي الرطبة وزيادتها إن أمكن، للمحافظة على الترشيح الطبيعي لمياه السيل. وفي دراسة لأحد عشر جدولا في السهل الساحلي لنورث كارولينا، وجد المختبر الذي أعمل به أنه في مستجمعات المياه التي يكون غطاء الأراضي الرطبة فيها كبيرا نسبيا - وهو في هذه الحالة أكثر من 13.5 في المئة - لم تتسبب فترات هطول الأمطار في زيادة كبيرة في أعداد بكتيرات البراز القولونية. وتشير النتائج إلى أن المحافظة على الأراضي الرطبة (وزيادتها المفترضة) هي طريقة فعالة لحماية المياه في آخر مجاريها من الرواسب العالقة والتلوث الميكروبي. وتستطيع شركات البناء المساعدة في هذا الجهد بالحد من وصول مياه السيول الجارية المحملة بالرواسب الصادرة عن مواقع البناء.

وينبغي لشركات المقاولات أن تستفيد من التقنيات الحديثة التي يمكن أن تقلل من كمية مياه الأمطار الجارية، وحتى أن تعالجها في مكانها. وعلى سبيل المثال، يمكن حاليا رصف مواقف السيارات بخرسانة مسامية، وهي مادة شبه كتيمة تسمح بانتقال المياه إلى التربة السفلية وتوافر مع ذلك الدعم الإنشائي الكافي للسيارات. ويمكن لنظم التجميع الحديثة إفراغ مياه السيول من خلال أقماع من مواقف السيارات إلى مرشحات تستخدم فيها طبقات من المعادن الماصة والمواد العضوية لتطهير المياه الملوثة (ويمكن أيضا تقليص حجم الأمكنة الكبيرة لمواقف السيارات، لأن معظمها قد بني ليلائم التسوق في أيام العطلات، لا ليلائم حركة المرور اليومية). ويمكن استخدام هذه التقنيات في المنشآت الموجودة والمنشآت الجديدة أيضا. وإذا أراد مجتمع ما خفض التلوث الناتج من مياه السيل الجارية لإحياء شواطئه أو لإنقاذ صناعة المحار الوطنية، يمكنه تركيب مرشحات في جميع مواقف السيارات، وإنشاء مناطق نباتية عازلة على طول الأنهار وقنوات الصرف، وإعادة إنشاء الأراضي الرطبة في مواقع مختارة.

المحافظة على الأراضي الرطبة[1] هي طريقة فعالة لحماية المياه في آخر مجاريها من التلوث الميكروبي.

ويشير الأداء السيئ لنظم المجارير في التربة الرملية وفي المناطق ذات الطبوغرافيا الكهفية بوضوح إلى أن الأقاليم الساحلية تحتاج إلى نظم أكثر تقدما لمعالجة مياه الصرف الصحي. ولكن بعض جماعات الحفاظ على البيئة أشارت إلى أن إنشاء نظم صرف صحي مركزية سوف يؤدي إلى مزيد من العمران ومزيد من تلوث المياه. وهكذا، فعندما تبني المجتمعات المحلية الساحلية نظم الصرف، ينبغي للسلطات البلدية أن تضع قيودا على التغطية بالسطوح الكتيمة في عمليات البناء الجديدة، بحيث تقتصر، مثلا، على 10 أو 15 في المئة من المساحة الكلية (وبخاصة بالقرب من مهاد المحار).

ويمكن للسواحل الأمريكية أن تكون مقصدا رائعا لقضاء الإجازات والانتقال للسكنى بها ولإقامة المشاريع التجارية. ومع ذلك، فما لم يتوافر التخطيط الجيد والرغبة السياسية في حماية الموارد الساحلية، ستظل الشواطئ الخلابة والخلجان المتلألئة بالأضواء والخيران المدِّية الهادئة أمكنة خطرة تتجمع فيها فضلاتنا. ويجب علينا أن نتأكد من أن التنمية العمرانية غير المدققة لن تؤدي إلى تدمير الخصائص الحقيقية التي يرجع إليها الفضل في اجتذاب الناس إلى السواحل. ■

(*) A Cleaner Future
(1) wetlands

المؤلف

Michael A. Mallin

عالم متخصص في الإيكولوجيا المائية (علم التبيؤ المائي)، درس بشكل مستفيض تلوث المياه العذبة والمصبات النهرية والمنظومات البحرية الساحلية. وهو حاليا أستاذ باحث في مركز العلوم البحرية بجامعة نورث كارولينا. حصل «مالين» على الدكتوراه في بيولوجيا البحار والمصبات النهرية من جامعة نورث كارولينا في تشابل هيل، وتشمل اهتماماته البحثية تحليل أثر ممارسات استخدام الأراضي في جودة المياه ودراسة تأثير تراكم العناصر المغذية والأحداث الجوية الكارثية.

مراجع للاستزادة

Effect of Human Development on Bacteriological Water Quality in Coastal Watersheds. Michael A. Mallin, Kathleen E. Williams, E. Cartier Esham and R. Patrick Lowe in *Ecological Applications*, Vol. 10, pages 1047–1056; 2000.

Demographic, Landscape, and Meteorological Factors Controlling the Microbial Pollution of Coastal Waters. Michael A. Mallin, Scott H. Ensign, Matthew R. McIver, G. Christopher Shank and Patricia K. Fowler in *Hydrobiologia*, Vol. 460, pages 185–193; 2001.

Linkages between Tidal Creek Ecosystems and the Landscape and Demographic Attributes of Their Watersheds. A. F. Holland, D. M. Sanger, C. P. Gawle, S. B. Lerberg, M. S. Santiago, G.H.M. Riekerk, L. E. Zimmerman and G. I. Scott in *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 298, pages 151–178; 2004.

More information can be found online at **www.nrdc.org/water/oceans/gttw.asp** and **www.epa.gov/beaches/**

Scientific American, June 2006

إنعاش مناطق ميتة(*)

كيف نستطيع إنعاش البحار الساحلية المتأذية من طفرة النمو النباتي والطحالبي الناجمة عن الفعاليات البشرية؟

<د. مي>

تخيل ساحلا مكتظا بالمتنزهين يتمتعون بشمس الصيف الحارة. وخلال بحث الأطفال عن الصدف ولقى أخرى في المياه الضحلة، يبدأ تقاطر حيوانات نافقة أو في طريقها إلى النفوق بالانجراف نحو الساحل بدءا من أسماك تكافح للبُقْيا(1) ثم كتل كريهة الرائحة متعفنة من **السراطعين** crabs و**البطلينوس** clams و**بلح البحر** mussels والأسماك. وعلى صياح أطفالهم المذعورين يندفع الأهالي بقلق لانتشالهم من الماء. وفي هذه الأثناء تلوح في الأفق قوارب الصيد التجارية عائدة إلى المرفأ بشباك وعنابر خاوية.

لا يشكل هذا المشهد جزءا من أفلام الرعب التجارية، فقد تواتر وقوع حوادث من هذا النوع فعلا في منتجعات كثيرة على سواحل البحر الأسود في رومانيا وأكرانيا خلال السبعينات والثمانينات، حيث قدر خلال هذه الفترة هلاك نحو 60 مليون طن من **الأحياء البحرية القاعية** (bottom-living (or benthic) life نتيجة **العوز الأكسجيني** hypoxia ـ كميات من الأكسجين في الماء قليلة جدا لبُقياها ـ وذلك في رقعة من البحر فقيرة بالأكسجين إلى حد لا يسمح بوجود **حياة لابكتيرية** nonbacterial life.

وقد اتسعت هذه الرقعة الميتة في الشمال الغربي من البحر بدءا من مصب نهر الدانوب، ووصلت إلى أوجها في عام 1990، حيث غطت مساحة تساوي مساحة سويسرا (40 000 كيلومتر مربع). وعلى الطرف الآخر من العالم ظهرت في خليج المكسيك قرب دلتا نهر المسيسبي منطقة ميتة شاسعة أخرى أواسط السبعينات، وصلت مساحتها إلى 21 000 كيلومتر مربع. لقد نشرت تقارير إضافية خلال العقدين الماضيين عن مناطق في طريقها إلى الموت أو الاستنزاف في البحار الساحلية والمصبات عبر العالم (*انظر الخريطة في الصفحة المقابلة*).

وقد انصب اهتمامي الأكبر خلال الأبحاث التي قمت بها منذ أوائل التسعينات، حيث نشر أولها حول **الأزمة البيئية (الإكولوجية)** ecological crisis في البحر الأسود، على تحديد أسباب هذا الدمار وكيفية تحاشي حدوثه وما يجب عمله لإعادة هذه المناطق المتأثرة إلى الحياة مرة ثانية. ولقد كشفت حاليا أعمالي وأعمال آخرين تفاصيل مهمة عن الحوادث التي تخرب المنظومات البيئية الساحلية في أجزاء عديدة من العالم وظهرت معلومات جديدة يمكنها المساعدة على إيجاد طرق **للتعافي** recovery.

تشكل المنطقة الميتة(**)

يقوم اليوم باحثو المحيطات بربط تشكل معظم المناطق الميتة بظاهرة تدعى **الإثراء الغذائي** eutrophication، أي الإغناء المكثف لمياه البحر **بالمغذيات** nutrients (المركبات المحتوية على النتروجين والفسفور بشكل رئيسي)، الذي يعزز نمو النباتات. وتعتبر كميات محدودة من هذه **المخصبات** fertilizers ضرورية لصحة **العوالق البحرية (البلانكتونات) النباتية** phytoplankton ـ الطحالب الطافية وكائنات التمثيل(2) الضوئي المجهرية التي تشكل أساس معظم السلاسل الغذائية البحرية ـ والأعشاب البحرية والطحالب التي تعيش على قيعان البحار الضحلة التي تصلها أشعة الشمس. لكن الكثرة من تلك المغذيات في هذه المواقع تؤدي إلى زيادة النمو النباتي، ومن ثم إلى انتشار كاسح للطحالب وتأثيرات أخرى غير مستحبة.

تدخل النباتات في السلسلة الغذائية عندما ترعى منها حيوانات دقيقة محمولة بالماء (**عوالق حيوانية** zooplankton) أو **أسماك عشبية** herbivorous و**كائنات قاعية ترشيحية التغذية**



تجلت المنطقة الميتة في البحر الأسود بوضوح حينما بدأت الأحياء المائية بالانجراف نحو الساحل قرب مصب نهر الدانوب في السبعينات. وتظهر الأسماك أعلاه منتشرة على طول ساحل البحر الأسود نتيجة المد العالي. كما تظهر صورة للساتل(3) لمنطقة غرب البحر الأسود أخذت عام 2000 (في *اليسار*) الانتشار الشاسع لنباتات مجهرية طافية على السطح نتيجة صبيب مياه النهر الغنية بالمغذيات.

(*) REVIVING DEAD ZONES
(**) Dead Zone Formation
(1) البقاء على قيد الحياة.
(2) أو التركيب أو البناء الضوئي.
(3) أو القمر الصنعي.





مناطق ميتة - تتكون مناطق ناضبة من الأكسجين (نتيجة التفكك البكتيري للنباتات الوفيرة)، ومن ثم خالية من معظم الحياة الحيوانية في البحار الساحلية قرب الدول المتقدمة غالبا. وقد تضاعف منذ عام 1990 عدد الدول المتأثرة. وغالبا ما يعزز جريان المياه السطحية الملوثة ظروف المنطقة الميتة، رغم حدوث بعض الحالات بشكل طبيعي. وقد تقلصت مساحة المنطقة الميتة في الجزء الشمالي الغربي من البحر الأسود كثيرا مقارنة بما كانت عليه قبل عدة عقود.

filter-feeding bottom dwellers كبلح البحر والمحار oysters، أو عندما تنفق أو تتعفن وتسقط على قاع البحر فتتعرض إلى تفكك بكتيري، وأخيرا تندمج مع رواسب القاع. وهذه المادة العضوية القاعية تصبح غذاء للحيوانات الموجودة هناك، بما في ذلك **الديدان** worms **والربيان** shrimp وبعض الأسماك.

إن عدد العوالق النباتية يعتمد في الحالة الطبيعية على توافر الضوء والمغذيات وشدة الرعي، ولكن الزيادة الكبيرة في تراكيز النتروجين والفسفور تمكن هذه المتعضيات الدقيقة **الضوئية التركيب** photosynthetic من التكاثر بوفرة عالية. ويتحول لون الماء أخيرا إلى الأخضر أو البني عندما يتسارع نمو مجاميع العوالق النباتية ويحول الظل الذي تسببه دون وصول ضوء الشمس الضروري للنباتات القاطنة تحتها. وفي الخلجان الضحلة أيضا تغطي طبقة من **الطحالب المجهرية** epiphytes الأعشاب البحرية، ما يؤدي إلى اختناق تلك النباتات ونفوقها. كما يمكن للطحالب أن تغلف **الشعاب المرجانية** coral reefs وبخاصة مع الصيد الجائر الذي يحد من تنامي **الرعويات** grazers الموجودة في المنطقة.

إن الطفرة الشاملة في أعداد العوالق النباتية والطحالب المجهرية تعوق الحياة البحرية بشكل مباشر، إلا أن الوضع الأسوأ يحدث نتيجة انخفاض مستويات الأكسجين في **المياه القاعية** bottom-waters. وتنخفض تراكيز الأكسجين عندما تستهلكه البكتيرات[1] خلال تفكيك كتل المادة العضوية الناجمة عن النفايات الحيوانية والكائنات العضوية النافقة التي تزداد خلال سيرورة الإثراء الغذائي. وتتراكم معظم هذه المادة فوق قاع البحر، حيث يندر وجود الأكسجين.

يأخذ الأكسجين طريقه إلى الماء، إما من سيرورة التمثيل الضوئي أو **الانتشار الفيزيائي** physical diffusion من الهواء عند سطح البحر. وإذا كان **تدارج الكثافة** density gradient في منطقة قاعها مغطى بالنباتات النافقة شديدا، بحيث يحول دون خلط عمود الماء فوقها، فإن الأكسجين عند القاع يمكن استنزافه خلال فترة قصيرة، وهذا يؤدي إلى نفوق كافة **المجاميع الحيوانية** animal communites (يمكن أن تنشأ هذه التدارجات نتيجة فروق درجة الحرارة أو ملوحة المياه على أعماق مختلفة). ولقد حدث هذا التتابع الأساس - إثراء غذائي يقود إلى انتشار العوالق النباتية ثم إلى نضوب الأكسجين يليه نفوق النباتات والحيوانات الموجودة - تقريبا في كل منطقة ميتة درسها الباحثون.

وعلى كل حال تختلف التفاصيل بحسب الظروف الحيوية والفيزيائية المحلية، وكذلك بحسب معدل وصول المغذيات من اليابسة. فعلى سبيل المثال، تعتبر مصبات الأنهار **شبه الراكدة** poorly flushed عرضة بشكل خاص لتأثيرات الإثراء الغذائي، نظرا إلى أن قلة سريان الماء تؤدي إلى البطء في **تزويد** replenishment مياه القاع بالأكسجين. ويعتبر هذا النقص الأكسجيني مشكلة مستمرة على طول الساحل الشرقي للولايات المتحدة، حيث تأثرت مصبات أنهار كبيرة كخليج جيزابيك Chesapeake Bay.

وفي الغالب تنتج الزيادة في كميات النتروجين والفسفور الواصلة إلى البحار الساحلية من تغير أنماط حياة الناس القاطنين في المناطق التي تصرف نحو البحر. إن الزيادة في استخدام الوقود الأحفوري (الذي يطلق النتروجين إلى الجو) وكذلك المخلفات الناجمة عن التربة المكثفة للأنعام والزراعة المكثفة وتشييد نظم مياه المجاري التي تصرف

نظرة إجمالية/ البحار الساحلية في مشكلة(*)

- **تقتل المغذيات النباتية المنقولة بالأنهار من اليابسة مظاهر الحياة في أجزاء من البحار الضحلة حول العالم مؤدية إلى تشكل ما يدعى مناطق ميتة.**
- **تسبب المخصبات الكيميائية نموا زائدا للنباتات المجهرية الطافية قرب السطح، ما يحول دون وصول الضوء إلى النباتات القاطنة في القاع ويؤدي إلى زيادة كمية المواد العضوية المتعفنة الساقطة على قاع البحر. وتستهلك البكتيرات الموجودة قرب العضويات الميتة أكسجين القاع ما يؤدي إلى فقدان معظم الحياة الحيوانية هناك.**
- **يمكن استعادة تجديد هذه المنظومات البيئية المهمة بتخفيض ملحوظ في صبيب مياه الري ومياه الفضلات، وكذلك بضبط الصيد السمكي الجائر.**

(*) Overview/ Coastal Seas in Trouble

(1) جمع بكتيرة.

في الكتل المائية، تؤدي جميعا إلى ازدياد كمية المغذيات في **الأحواض المائية السطحية** watersheds. وقد أشار تقرير **التقويم البيئي للألفية** The Millennium Ecosystem Assessment الصادر عن الأمم المتحدة في عام 2005 إلى أن كميات المركبات المحتوية على النتروجين الواصلة إلى البحار قد زادت بنحو 80 في المئة من عام 1860 إلى عام 1990. وتنبأ التقرير بأن مجمل الجريان نحو المحيطات نتيجة النشاطات البشرية سيزداد فوق ذلك بنسبة 65 في المئة بحلول منتصف القرن. ولذا يحتمل ازدياد انتشار المناطق الميتة ما لم تتخذ المجتمعات إجراء فوريا للإقلال من تدفق المغذيات النباتية.

مقابر مائية(*)

مع أن ظهور منطقة ميتة يعتبر المرحلة الأخيرة لسيرورة الإثراء الغذائي، فإن المنظومات البحرية، وبخاصة المجموعات الحيوانية منها، تتعرض لتغيرات قبل تلك الفترة بزمن طويل؛ إذ غالبا ما تشكل **الدياتومات (ثنائية الذرات)** diatoms – وهي **عوالق طحلبية سيليكاتية الغلاف** silica-shelled phytoplankton – أولى مراحل سلسلة غذائية سليمة في المناطق الساحلية، وهذه تستهلكها **مجدافيات الأقدام** copepodes، وهي **عوالق قشرية حيوانية متناهية في الصغر** minuscule zooplanktonic crustaceans. وتصبح هذه الحيوانات بدورها طعاما للأسماك. إن زيادة تراكيز المغذيات تؤثر في خليط أنواع العوالق النباتية، بحيث تفوق أنواع أخرى أدق وأقل قابلية للهضم أعداد العوالق الطحلبية. وعندما يتيح الإثراء الغذائي ازدياد العوالق النباتية بكثرة غالبا ما تعجز مجدافيات الأقدام عن الرعي على الأنواع الجديدة من العوالق النباتية وكذلك على الكميات الكبيرة من البقايا العضوية الناتجة من **اضطراب** disruption المنظومة البيئية الطبيعية. إن هذا التغير يشجع على نمو كائنات عضوية شديدة التحمل **كالهلاميات الليلية** noctiluca (المشكلة للفسفوريسين الليلي الحادث عند اضطراب سطح الماء). ويدعو علماء الأحياء هذه الحيوانات السمكية الهلامية التي تشبه قناديل البحر **«الأنواعَ الحدية»** dead - end species، نظرا إلى صعوبة تعايش **المفترسات ذات المستوى الأعلى** higher - level predators قربها. كما أن وجودها يخفض من كفاءة **السلسلة الغذائية** food chain، ما يؤدي إلى تضاؤل المخزون السمكي.

إن الصيد الجائر يزيد في خلل توازن السلسلة الغذائية وبخاصة عندما يستهدف الأنواع العالية القيمة من **المفترسات القمة** top predators كأسماك **القد** cod والأسماك الفضية من نوع **النازلي** hake والأسماك الذهبية من نوع **دورادو** dorado والأسماك الخضراء المزرقة من نوع **الأسقمري** mackerel. إن فقدان أنواع **أسماك القمة** apex fish يقود إلى ازدياد أعداد طرائد **الأسماك الصغيرة** prey fish، وهذا بدوره يؤدي إلى تناقص أعداد العوالق الحيوانية (غذاء الأسماك الصغيرة)، ومن ثم إلى ازدياد العوالق النباتية. ويدعو العلماء هذه السيرورة المتتابعة **تهابط السلسلة الغذائية** trophic cascading. إن وجود سلسلة غذائية لاكفوءة يؤدي إلى ازدياد المادة العضوية على قاع البحر، وهذا بدوره يعزز خطر تشكل منطقة ميتة في وقت لاحق.

إن المنظومات البيئية التي تغيرت نتيجة الإثراء الغذائي تصبح أكثر عرضة لغزو أنواع دخيلة كتلك التي يمكن أن تصل مثلا نتيجة تصريف مياه أحواض توازن السفن العابرة للمحيطات. ففي الثمانينات وصلت أسماك **المشط الهلامية** Mnemiopsis leidyi، والتي ربما كانت أصلا على الساحل الشرقي للولايات المتحدة، إلى البحر الأسود. وقد طغت هذه المفترسات النهمة الحدية بحلول عام 1990 على كامل المنظومة البيئية، وبلغت في ذروتها كثافة هائلة وصلت إلى 5 كيلو غرام في المتر المربع.

وفي بعض الأحيان، يمكن لشعاب **الأسماك الصدفية** shellfish أن تدرأ تردي منظومة بيئية. ففي كثير من المصبات النهرية على الساحل الشرقي للولايات المتحدة يؤدي **المحار** oysters دور مهندسي النظام البيئي بالتجمع على شكل شعاب تعلو عدة أمتار فوق قاع البحر. وتدعم هذه الشعاب تجمعات متنوعة من الكائنات العضوية بما في ذلك **سمك موسى** flounder **والسمك القناص** snaper وأسماك **بيرج الفضية** silver perch **والسراطعين الزرقاء** blue crabs.

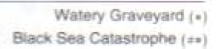
وعلى سبيل المثال، فقد بين كل من <H. لينهان> [من جامعة كاليفورنيا في سانتا باربرا] و <H.C. بيترسون> [من جامعة نورث كارولينا في شابل هل] أن ذرا شعاب المحار في نهر نوس بنورث كارولينا صارت ملاذا للأنواع المهجَّرة من مناطق القاع الناضبة من الأكسجين عند بدء تشكل المنطقة الميتة، لأن تلك الذرا قد برزت فوق تلك المناطق. وعلى كل حال غالبا ما يؤدي الحصاد الميكانيكي المتكرر للمحار إلى الإقلال من ارتفاع هذه الشعاب، ما يساعد على تدمير **رجوعية** resilience هذه المنظومات البيئية.

كارثة البحر الأسود(**)

يقدم البحر الأسود مثالا صارخا على آلية تخريب **المنظومات البيئية القاعية** undersea ecosystems بفعل ازدياد المغذيات، كما يتيح تصورًا عن كيفية إعادة إنعاش تلك المنظومات. لقد وقعت المنطقة الشمالية الغربية من البحر فريسة للإثراء الغذائي عندما تضاعفت كميات انصباب مركبات النتروجين والفسفور فيها من اليابسة بين أعوام الستينات والثمانينات. ويشكل نهر



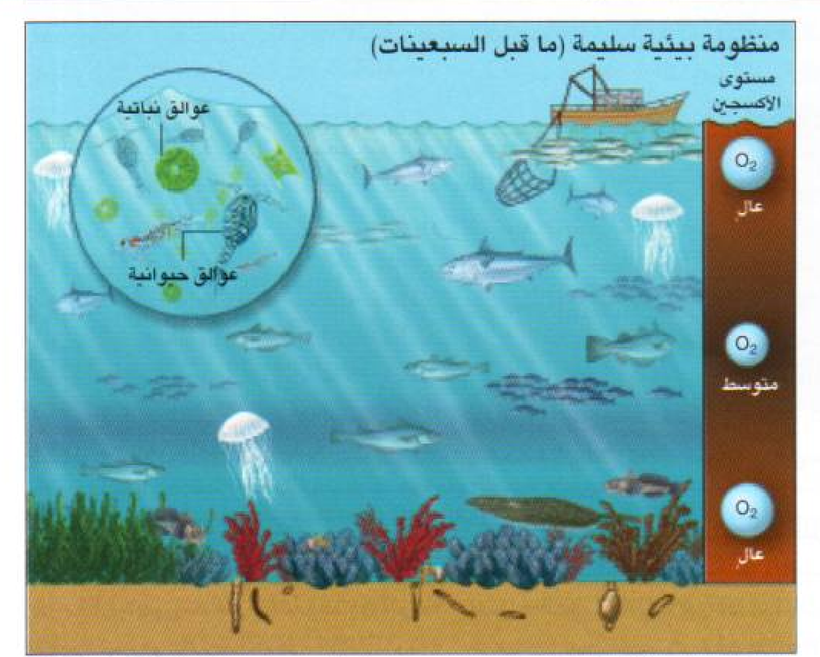
تظهر الحياة القاعية المفقودة والمستعادة بوضوح في هاتين الصورتين لموقعين من قاع البحر الأسود مطلع عام 2006. وتظهر *الصورة اليسرى* منطقة ناضبة بشدة مغطاة بقشريات الرخويات المقتولة نتيجة نقص الأكسجين المذاب. وفي *الصورة اليمنى* يظهر موقع متعاف مغطى بطبقة كثيفة من الطحالب المتنوعة وأعداد ضخمة من بخاخات البحر ascidians (نوافير بحرية sea squirts).



Watery Graveyard (*)
Black Sea Catastrophe (**)

المراحل الرئيسية لتشكل منطقة ميتة(*)

تعتبر الحوادث المحددة لنشوء المنطقة الميتة في البحر الأسود نمطية لمناطق مشابهة ناضبة من الأكسجين (عائزة للأكسجين)، رغم اختلاف التفاصيل من حالة إلى أخرى. وفي الأساس يقود الإثراء الغذائي. وصول كميات كبيرة من المغذيات التي تسبب نموا شديدا للطحالب ونباتات طافية أخرى ضوئية التمثيل، بشكل غير مباشر إلى العوز الأكسجيني وإلى نفوق النباتات والكائنات الحية التي في الأعماق. لقد عرض <T. ناجاي> [من وكالة أبحاث صيد الأسماك اليابانية، والذي درس إحدى أوَل المناطق ذات العوز الأكسجيني المعروفة] وصفا أوليا للمراحل الثلاث **لانحطاط** decline المنظومة البيئية في بحر سيتو الداخلي باليابان أوائل الستينات. فقد دعا المرحلة الطبيعية بـ**بحر السرب الأحمر** sea of red bream (أنواع المفترسات المستهدفة من الصيادين المحليين)؛ ثم تلت ذلك مرحلة **بحر الأنشوفيز** sea of anchovies، حيث تضاءل عدد المفترسات تاركة وراءها بشكل رئيسي **أسماك الطرائد الصغيرة** prey fish. وأخيرا أتت مرحلة **بحر السمك الهلامي (أو قناديل البحر)** sea of jelly fish، حيث ماتت معظم الأنواع الأخرى تاركة وراءها أنواعا غازية شديدة التحمل تطغى في المكان. وقد كان <ناجاي> أيضا من بين أوائل الذين أشاروا إلى إسهام الصيد الجائر في سيرورة تدهور السلسلة الغذائية في البحر (نتيجة زوال السمك المفترس القمة).



في البدء احتوت المياه الساحلية القريبة من السطح في منطقة البحر الأسود الشمالية الغربية على خليط متنوع من العوالق النباتية (طحالب ونباتات ميكروية (مجهرية) أخرى طافية) وأنواع عديدة من السمك والمتعضيات الأخرى. وقد تميزت المياه الضحلة قرب الساحل بوجود أنواع من أسماك الأنشوفيز اليانعة، كأسماك الماكريل **mackerl** والبونيتو **bonito**؛ في حين عاشت في الأعماق المتوسطة مجموعات كبيرة من المفترسات القمة كسمك الوايتنك **whiting** وأفواج كثيرة من الطرائد السمكية، إضافة إلى بعض قناديل البحر. أما في الأعماق فقد نشطت مجاميع من الرخويات وأسماك الجوبيز **gobies** والتربوت **turbot** و السترجيون **sturgeon** والسراطعين **hermit crabs**، وذلك ضمن كميات هائلة من الأعشاب البحرية والطحالب البنية والحمراء.

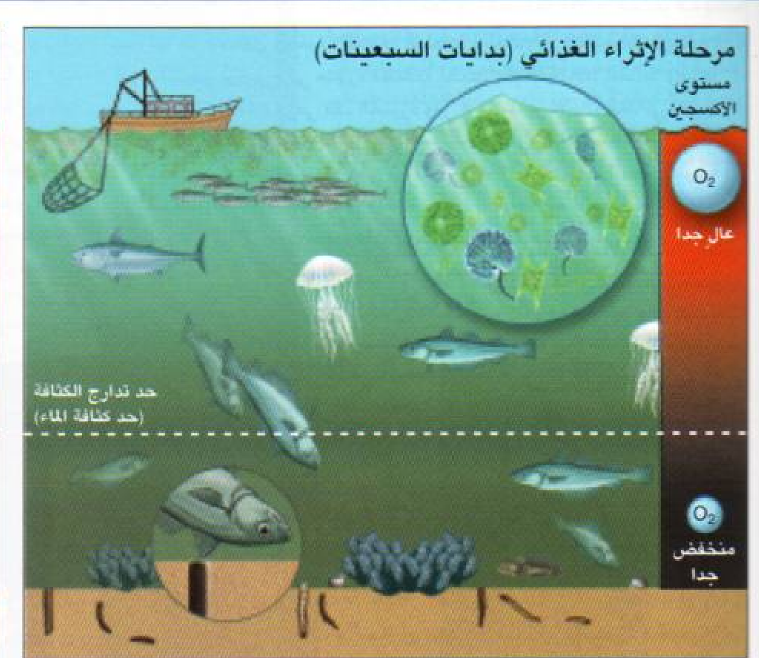
الدانوب المورد الرئيسي لهذه المركبات الكيميائية، نظرا إلى أنه يصرِّف معظم **تجمعات الأمطار** watersheds في 11 دولة عبر أوروبا الوسطى من ألمانيا إلى رومانيا. وتوجه أصابع الاتهام بشكل رئيسي نحو الصرف السطحي الزراعي ومياه الفضلات البلدية والصناعية، إضافة إلى مركبات النتروجين المنتقلة من الغلاف الجوي. إن ما لا يقل عن نصف كمية النتروجين الإضافية التي تصب في البحر الأسود نتج من أساليب الزراعة الحديثة، بما في ذلك الاستخدام المفرط للأسمدة، وكذلك بسبب منشآت الإنتاج الحيواني الضخمة. لقد أسهمت هذه النشاطات الزراعية أيضا في ازدياد صبيب الفسفور. ولكن الدور الأكثر تأثيرا كان لصبيب المخلفات الصناعية والبلدية المحملة **بالمذيبات المتعددة الفسفات** polyphosphate detergents.

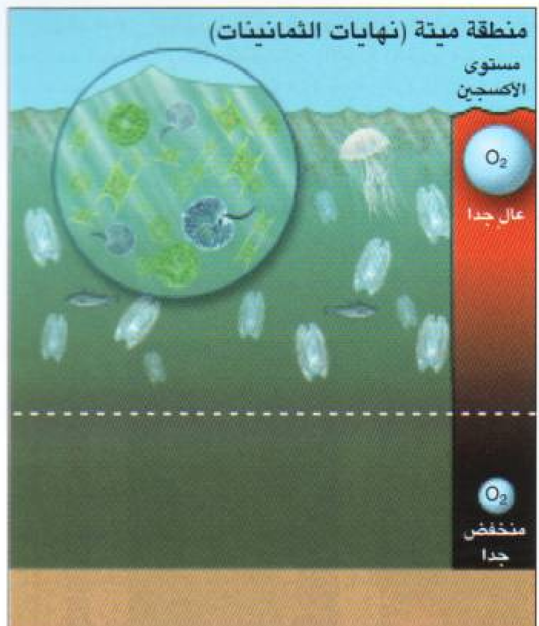
لقد كانت المنطقة الشمالية الغربية الضحلة من البحر الأسود قبل الستينات تشكل نظاما متنوعا وعالي الإنتاجية، محتويا على امتدادات شاطئية شاسعة من الطحالب القاعية البنيَّة اللون، كما عاشت بعيدا عن الشاطئ أكبر مجموعات الطحالب الحمراء في العالم ـ حقل من **الفيلوفورا** phyllophora بمساحة هولندا. وقد تعايشت هذه المروج الطحلبية الطبيعية مع مجاميع هائلة من الرخويات والمصراعيات الأخرى، وساعد مجمل هذا النظام على وجود أنواع كثيرة من اللافقاريات والأسماك. كما ساعدت الطحالب على أكسدة مياه القاع وقامت الرخويات بترشيح مياه البحر مؤمنة بذلك الضوء اللازم لسيرورة التمثيل الضوئي. وقد كانت هذه المنظومة البيئية العالية الرجوعية قادرة على استيعاب تغيرات كبيرة في ظروف المناخ والاضطرابات الطبيعية. وعلى كل حال فقد أدى ازدياد صبيب المغذيات إلى ظهور طفرات من العوالق النباتية على سطح الماء. وتسبب هذا النمو الوافر في تخفيض شفافية الماء، ما حال بدوره دون وصول الضوء إلى الطحالب القاعية، وأدى أخيرا إلى زوالها، ومن ثم تغيير المنظومة البيئية بأكملها.

وخلال أشهر الصيف، حيث **تتنضد (تتراصف)** stratified طبقة المياه، تبدأ مستويات الأكسجين بالتناقص وبخاصة قرب القاع، ويتحمل كثير من المصراعيات العوز الأكسجيني لفترة قد تصل إلى 20 يوما، وذلك بإغلاق أصدافها والعيش على الاحتياطيات الداخلية من **الكليكوجين** glycogen ـ مخزون الطاقة الرئيسي للحيوان من الكربوهدرات. لكن حين استنزاف هذه المؤونة تنفق **الحلزونيات** mollusks بكميات كبيرة، ما يدفع البكتيرات والمتعضيات الأخرى لاستهلاك المتبقي من الأكسجين المحلي خلال تفكيكها لهذه الحيوانات النافقة وطرح كميات جديدة من المغذيات النباتية. وبزوال كامل الأكسجين، فإن كافة الكائنات الحيوانية التي كانت تعيش طبيعيا في المنطقة إما هاجرت بعيدا بحثا عن الغذاء والأكسجين وإما نفقت في مكانها.

ولم تبدأ المنطقة بالتعافي إلا بعدما انهارت الأنظمة الشيوعية في أوروبا الشرقية بنهاية عام 1989 وتم التخلي عن التخطيط المركزي للاقتصاد. ووجد المزارعون هناك أنفسهم بشكل مفاجئ

(*) KEY STAGES IN THE FORMATION OF A DEAD ZONE





مع تزايد صبيب المغذيات النتروجينية والفسفورية من اليابسة بدأ الاتساق الطبيعي للمنطقة الساحلية للبحر الأسود بالتغير. فقد أدى النمو الزائد للعوالق النباتية إلى تغير لون المياه إلى اللون الأخضر وحتى البني، ما حال دون وصول ضوء الشمس إلى النباتات العائشة في الأسفل، إضافة إلى ترسيب مستمر للمادة العضوية المتعفنة فوق القاع. وقد تلا ذلك قيام البكتيرات الموجودة على القاع باستهلاك كميات كبيرة من الأكسجين خلال التهامها المادة العضوية والنباتات النافقة، وهذا أدى إلى حالة عوز أكسجيني عند قاع البحر ونفوق متعضيات[1] كثيرة.

وأخيرا صار البحر خاليا من مظاهر الحياة، نظرا إلى امتداد **الظل** shading والعوز الأكسجيني الشامل. لقد أدى الصيد الجائر إلى تناقص أنواع الأسماك المفترسة، وأخيرا اختفاء هذه الأنواع ومعظم الحيوانات الكبيرة من المنطقة. ونتيجة لذلك تضاعفت كثيرا في الطبقات العلوية أنواع انتهازية غازية وبخاصة **أسماك المشط الهلامية** Mnemiopsis leidyi.

بالقليل من المال لشراء السماد، ومن ثم تباطأت النشاطات الزراعية. كما أغلق الكثير من المزارع الحيوانية العملاقة، ما أدى لتخفيض جريان المغذيات إلى حد كبير. وقد أنتجت في السابق مزرعة واحدة تحوي مليون رأس من الخنازير في رومانيا ما يكافئ انبعاثات من مدينة يقطنها خمسة ملايين نسمة.

لقد نتج من التخفيض الكبير للمغذيات خلال ست سنوات تضاؤلُ مساحة المنطقة الميتة (*انظر الشكل في الصفحة 42*). وعلى كل حال كان تعافي البحر تدريجيا. فعلى سبيل المثال، أظهرت دراسات قام بها زملاء أوكرانيون أن تجمعات الرخويات في المناطق المخربة من الحيد الشمالي لم تعد إلى الظهور ثانية إلا بحلول عام 2002، أي بعد انقضاء سنين عديدة على تعافي مجموعات أخرى. وقد كشفت بعثة علمية أرسلناها في الشهر 2006/8 لفحص حالة البحر عن نمو كميات كبيرة من مجاميع الطحالب القاعية، رغم اختلاف هذه الأنواع عن تلك التي كانت سائدة قبل تشكل المنطقة الميتة.

طريق طويل للتعافي(*)

من الواضح أن استعادة الحياة في المناطق الميتة تتطلب في حدها الأدنى الإقلال من وصول المغذيات من الأراضي المجاورة، ومع ذلك قد لا تعود المنظومات البيئية البحرية التي انهارت بسبب الإثراء الغذائي والعوز الأكسجيني إلى وضعها الأصلي حتى لو غير الناس فعالياتهم لإقلال كميات المغذيات النباتية الواصلة إلى الأنهار. وتحصل هذه المقاومة للتعافي نتيجة ثلاثة أسباب.

فالأحواض النهرية الساكنة تمتلك إمكانات كبيرة لتخزين المغذيات ـ ذائبة في المياه الجوفية أو **ممتزة** adsorbed على ذرات التربة. وقد تنقضي سنين أو حتى عقود قبل توقف الأسمدة النتروجينية والفسفورية والمواد الكيميائية الأخرى عن **التسرب** leaching out والوصول إلى البحر، وتنزع مركبات النتروجين بشكل خاص إلى التراكم في المياه الجوفية.

كذلك قد **تتباطأ** linger المناطق الميتة في مواقعها إذا قل وجود مجموعات سليمة من النباتات والحيوانات في الجوار والتي يمكنها أن تقدم «**مخزونا بذريا**» seed stock يعيد وجود المجموعات المفقودة. وبالفعل فقد انقرضت أصناف **الحياتين النباتية والحيوانية** flora and fauna التي عاشت يوما في المنطقة المتضررة. ويمكن أن تنتقل حيوانات بحرية كانت تسكن الموقع مسافات كبيرة على شكل يرقات من منظومات بيئية سليمة لتوطن نفسها في ملاذ حيوي شاغر مناسب. وقد تجد هذه الأنواع التي تنوي العودة ثانية، نفسها قد احتلت مكانها متعضيات غازية انتهازية قامت بالاستيلاء على المواطن المناسبة.

وأخيرا غالبا ما يسبب الإثراء الغذائي تغيرات في تركيب المنظومة البيئية لا يسهل عكسها (*انظر الشكل في الصفحة 43*). وتتراجع بعض الأنواع لدى التزايد المبكر في تراكيز المغذيات، لكن يمكن أن تبقى المنظومة البيئية ككل فتية لفترة طويلة إذا تمكنت المجموعات الطبيعية من مقاومة الازدياد في نمو العوالق النباتية أو ما يشبهها. ولكن

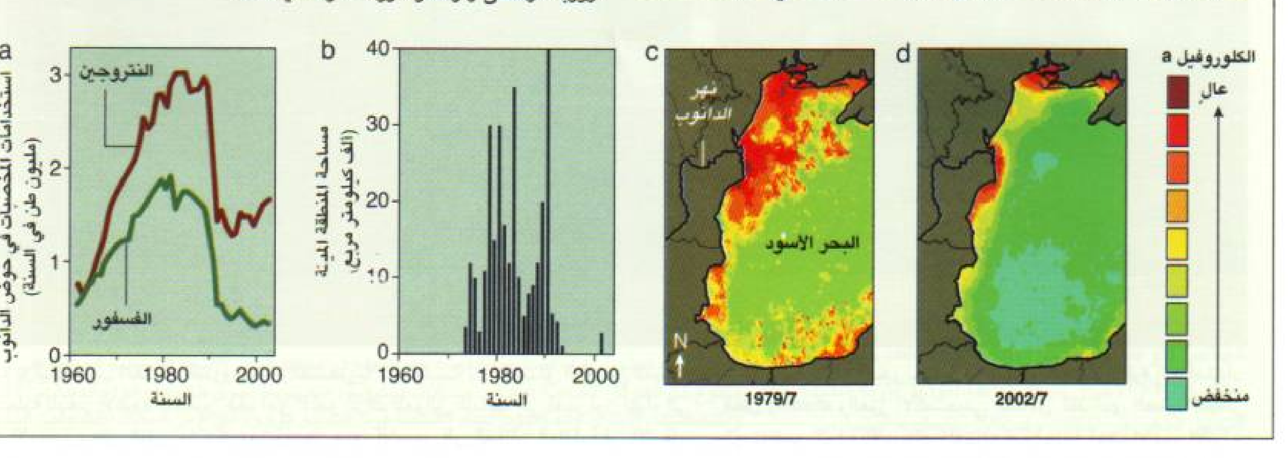
(*) Long Road to Recovery

(1) organisms، أو عضويات أو كائنات أو أحياء.

البحر الأسود يتعافى من جديد(*)

يؤكد تعافي المنطقة الميتة في البحر الأسود الحاجةَ إلى إنقاص جريان المغذيات الزراعية ومياه الفضلات والأنواع الأخرى من اليابسة إذا أريد استعادة المناطق المتأثرة لحياتها مرة ثانية. ولم تبدأ المنطقة الميتة المحاذية للساحل الشمالي الغربي للبحر الأسود بالتعافي إلا بعد انهيار النظام الشيوعي في عام 1989؛ حيث توقفت الزراعة المكثفة، بما في ذلك تربية الحيوانات على نطاق واسع والاستخدام الشديد للأسمدة المحتوية على النتروجين والفسفور (a) الذي كان سائدا منذ عام 1960. وقد شقت بقايا المغذيات طريقها إلى نهر الدانوب والأحواض الساكبة(1) الأخرى، ووصلت أخيرا إلى البحر الأسود، ما أدى إلى ظهور المنطقة الميتة في عام 1973 وتكرار حدوثها في فصول الصيف للسنين الواحدة والعشرين التالية (b). ويكشف اللون الأحمر بوضوح في صورة فضائية أخذت عام 1979 (c) امتدادا واسعا للمياه المثقلة بالأسمدة (في تلك الصورة وفي d تم تقدير الإثراء الغذائي بتعيين تراكيز الكلوروفيل a، وهو مؤشر إلى النمو النباتي في المياه السطحية).

وبعد مرور خمس سنوات على توقف الزراعة المكثفة عادت المنطقة المتردية إلى الحياة (d، b)، منتكسة مرة واحدة خلال الصيف الحار جدا عام 2001. وبحلول عام 2002 عادت مجموعات الرخويات إلى الاستيطان من جديد. وعلى كل حال يمكن أن يتعرض البحر الأسود لخطر جديد حين انطلاق اقتصادات أوروبا الوسطى وازدهار الزراعة مرة ثانية هناك.



فقدان الأنواع الرئيسية عند حد معين يؤدي إلى انهيار مفاجئ وحدوث حالة متردية جديدة تأخذ وضع توازن جديد نتيجة تحمل بعض الأنواع الباقية لتأثيرات الإثراء الغذائي ووصول كائنات انتهازية من مواقع أخرى. وهذه الحالة الجديدة هي، لسوء الحظ، في وضع مستقر. ولذا قد لا يؤدي إنقاص كمية المغذيات إلى مستويات ما قبل الإثراء الغذائي إلى استعادة المنظومة البيئية الأصلية، بل قد يلزم تخفيض تراكيز تلك المغذيات إلى مستويات أقل من ذلك بكثير.

ويزيد الصيد الجائر في تعقيد المسألة إذا أدى إلى الإقلال من رجوعية المنظومة البيئية، حيث يحصل تردي الحالة الطبيعية من وضعها الأصلي في وقت أبكر. ولذلك قد يكون من الضروري أيضا الإقلال من الصيد بشكل ملحوظ قبل التوصل إلى حالة سليمة. وقد يتعذر استعادة الظروف السابقة إطلاقا إذا فقدت أنواع المنظومة الأصلية أو ظهرت أنواع غازية في الموقع.

درء حدوث المناطق الميتة(**)

لا يكفي أن نعرف كيف نصلح المناطق الميتة، وإنما يجب على الحكومات أن تقتنع بأهمية استعادة هذه المناطق وتأخذ بزمام الأمور المبادرة لذلك. ولقد دعم العلماء بالوثائق بعضا من حالات التعافي لتلك المناطق، نظرا إلى أن إنقاص **سيح** runoff المغذيات من الأرض يتطلب تغييرات مهمة في أساليب الزراعة ومعالجة مياه الصرف. وقد أدت معظم البرامج الموضوعة إلى تخفيض جزئي فقط في جريانات المغذيات فوق الأرض.

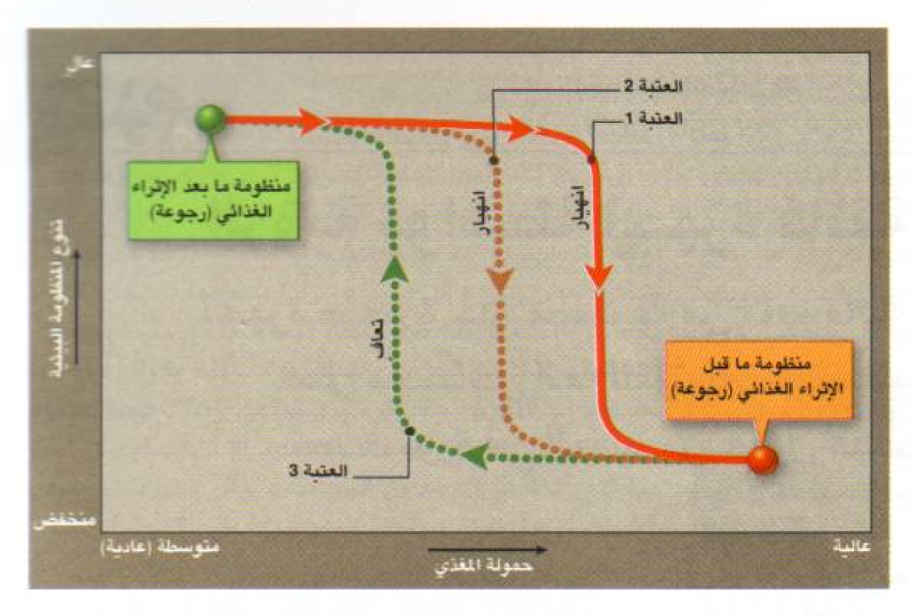
ولتخفيض حمولات المغذيات يجب وضع خطط شاملة (على مستوى منظومة حوض ساكب نهري) موضع التنفيذ للإبقاء على النتروجين والفسفور على اليابسة خارج الماء. وقد وضعت مثل هذه الجهود حاليا موضع التنفيذ في خليج جيزابيك وفي البحر الأسود. وفي الحالة الأخيرة اتفقت الحكومات المحيطة، بمساعدة **وحدة بيئة العالم** Global Environment Facility التابعة للأمم المتحدة، على اتخاذ مبادرة مهمة للإبقاء على مستويات جريان المغذيات عند قيمتها منتصف التسعينات، وهي خطة تساعد على ما يبدو على تعافي تلك المناطق من خلال مشاريع رائدة لتحسين أساليب الزراعة ومعالجة مياه الفضلات.

وعلى كل حال يجب التغلب على مشكلتين مهمتين قبل حدوث تعاف شامل ومستدام لمنظومة البحر الأسود البيئية. ويجب على السلطات الأوروبية اتخاذ الإجراءات اللازمة لضمان عدم وصول المغذيات من اليابسة إلى البحر مرة ثانية في حال عودة انطلاق اقتصاداتها من جديد. فمثلا يجب عليهم الاستثمار في مشاريع ضخمة للإقلال من الفضلات، وذلك باستخدام أحدث التقنيات. وتبرز أهمية هذه النقطة بشكل خاص في حوض الدانوب؛ حيث انضمت، أو في الطريق إلى ذلك، ست دول إلى الاتحاد الأوروبي. ويتلهف بعض المزارعين من أوروبا الغربية، حيث تسببت الزراعة المكثفة في إثراء غذائي للأنهار والمياه الساحلية، لشراء مزارع في أوروبا الوسطى.

كما يجب على الحكومات تحجيم الصيد السمكي التجاري إلى الحد الذي يسمح بتعافي المخزونات المستنزفة من **الأسماك المفترسة** Piscine Predators، وكذلك ضبط شباك وتجهيزات الصيد في القوارب التي تخرب المجموعات القاعية الرئيسية.

إن على الأمم البحرية عبر العالم العمل

The Black Sea Comes Back (*)
Eliminating Dead Zones (**)
watersheds (1)



قد لا يكفي تخفيض مستويات المغذيات إلى ما كانت عليه قبل تشكل المنطقة الميتة لتحقيق التعافي، كما هو مبين في هذا الشكل، الذي يربط بين صحة منظومة بيئية (بدلالة تعقيدها أو تعدد أنواعها) وكمية المغذيات التي تكفيها. وتبقى منظومة ما عالية التنوع ومقبولة الصبيب من المغذيات ذات رجوعية عالية إلى أن تزيد حمولة المغذيات على مستوى معين (*العتبة 1*)، مؤدية بذلك إلى انحدار المنظومة نحو حالة تنوع أدنى. وتحصل هذه الحالة المفاجئة (*العتبة 2*) إذا أدى الصيد الجائر إلى استنزاف أعداد الأسماك من المفترسات القمة[1]، ما ينقص تعدد الأنواع. ولسوء الحظ فإن الحالة المتردية الجديدة هي أيضا مقاومة للتغير ولا يمكنها استعادة تنوعها المفقود إلا عند انخفاض معدلات صبيب المغذيات إلى مستوى أقل بكثير من المستويات الابتدائية (*العتبة 3*). وحتى في هذه الحالة الأخيرة يمكن لمنظومة بيئية أن لا تعود مطلقا إلى حالتها الأولى إذا انقرضت الأنواع الرئيسية.

على تخفيف الضغط الذي يسببه الصيد في مناطق الإثراء الغذائي، وهذا الأمر يصعب تحقيقه بعد أن استنزفت اليوم أكثر من نصف المصايد السمكية عبر العالم. ورغم توقيع اتفاقية عالمية لتأسيس شبكة من المحميات البحرية عبر العالم ببلوغ عام 2012 ـ ما يساعد على تقييد الصيد الجائر وإنقاذ المخزون البذري اللازم لتعافي المناطق الميتة ـ فإنه من غير المتوقع تحقيق أهداف هذه الاتفاقية، نظرا إلى فقدان آليات التطبيق.

وحتى لو تمت استعادة جزئية لمنظومة بيئية **ثرية بالغذاء** eutrophic يجب على السلطات أن تدرك أن هذا التعافي الجزئي قد يبقيها في وضع لامستقر. فالرخويات، على سبيل المثال، لها قدرة فائقة على ترشيح المياه. وقد تم تنمية أسرةً من الرخويات على شعاب اصطناعية لتحسين جودة المياه. ولكن التفكيك البكتيري لفضلات الرخويات والكائنات النافقة يستهلك كميات كبيرة من الأكسجين، ما يؤدي إلى تشكل **دورات ذروة وحضيض** boom-and-bust cycles في الأمكنة التي يكون فيها خلط الماء ضعيفا وتجديد الأكسجين محدودا. وفي هذه الحالات تنهار مجموعات الرخويات النشيطة فجأة فتتشكل منطقة ميتة لا يبدأ تعافيها من جديد إلا بعد تفكك كامل المادة العضوية في الموقع. لقد لاحظ العلماء هذه الظاهرة في المصبات على البحر الأسود. ويكمن التحدي أمام مديري الموارد البحرية في الإبقاء على الظروف التي تسمح بديمومة منظومات **رجوعة** resilient ومتنوعة ـ حتى في المناطق التي لم يعد فيها بلوغ حالة التعافي التام ممكنا.

وبكلام أكثر دقة، يعتمد مبدأ تصنيف مستوى صحة أو جودة منظومة بيئية على القيم التي لدى السكان المحليين. ففي الوقت الذي يبدو لبعضهم أن النتيجة المطلوبة من أي **عمل تصحيحي** remedial action هي الوصول إلى بحر يحتوي على طرائد سمكية صغيرة، في حين لا يكون مقبولا لدى الآخرين إلا التوصل إلى حالة بحر يعجّ بالمفترسات الرئيسية.

إن المناطق الساحلية الميتة تنبهنا إلى أن على البشرية ألا تتوقع ببساطة أن تمتص المنظومة البيئية الطبيعية مخلفات البشر من دون أن يترتب على ذلك نتائج خطرة، غالبا ما تكون غير متوقعة. ونحن نعلم حاليا كيف نستعيد حياة المناطق الميتة، ولكن الخطوات اللازمة لفعل ذلك تعتمد في النهاية على مدى تقديرنا لتشعب مشكلات طرح النفايات في البيئة، وعلى درجة تقييمنا للمنظومات البيئية البحرية. ■

(١) top predators

المؤلف

Laurance Mee

مدير المعهد البحري في جامعة بلايموث بإنكلترا. وهو يرأس مجموعة أبحاث الخطة البحرية الساحلية المتعددة الاختصاصات في الجامعة. وهو عالم محيطات حصل على الدكتوراه من جامعة ليفربول. شغل «مي» أيضا مواقع بحثية في معهد العلوم البحرية والمائية في المكسيك ومختبر IAEA للبيئة البحرية في موناكو، ونسق أعمال برنامج وحدة بيئة العالم التابعة للأمم المتحدة ـ البرنامج البيئي للبحر الأسود. وقد صار زميل كرسي صون البحار في عام 1988. وتنصب أعمال «مي» الحالية على طرق حماية البيئة البحرية وأحواض الصرف المرتبطة بها والمناطق الساحلية.

مراجع للاستزادة

Marine Benthic Hypoxia: A Review of Its Ecological Effects and the Behavioral Responses of Benthic Macrofauna. R. J. Diaz and R. Rosenberg in *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, Vol. 33, pages 245–303; 1995.

National Estuarine Eutrophication Assessment: Effects of Nutrient Enrichment in the Nation's Estuaries. S. B. Bricker, C. G. Clement, D. E. Pirhalla, S. P. Orlando and D.R.G. Farrow. NOAA, National Ocean Service, Special Projects Office and the National Centers for Coastal Ocean Science, 1999.

Nutrient-Enhanced Productivity in the Northern Gulf of Mexico: Past, Present and Future. N. N. Rabelais, R. E. Turner, Q. Dortch, D. Justic, V. J. Bierman and W. J. Wiseman in *Hydrobiologia*, Vol. 475, No. 6, pages 39–63; 2002.

Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, 2005. Available online from **www.millenniumassessment.org/en/products.global.overview.aspx**

Restoring the Black Sea in Times of Uncertainty. L. D. Mee, J. Friedrich and M. T. Gomoiu in *Oceanography*, Vol. 18, pages 32–43; 2005.

Scientific American, November 2006

الرؤية بواسطة أجهزة فائقة الموصلية[*]

أجهزةٌ صغيرة جدا مصنوعة من مادة فائقة الموصلية، تعمل عمل مُحسّات رائعة للفوتونات ولجسيمات أخرى، تُحدث ثورة في العديد من حقول البحث والتقانة.

<D .K. إروين>

عيناك مكشافا ضوء شديدا الحساسية، تعينان شدةَ الأشعة الساقطة عليهما ولونَها وتوزُّعها الفضائي[1]. وتمتلك شبكية العين البشرية من العنصورات (البكسلات)[2] أكثر مما تمتلكه آلة تصوير رقمية تجارية. ففي الشبكية نحو ستة ملايين من الخلايا المخروطية التي تتحسس باللون وأكثر من 100 مليون من الخلايا الأسطوانية (القضبان) المسؤولة عن الرؤية في الظلام. والعيون حساسة جدا: خلية أسطوانية معتادة على الظلام يمكن أن تطلق إشارة إلى الدماغ عند امتصاصها جسيما واحدا من جسيمات الضوء (أو فوتونا)، وهو أصغر وحدة كمومية من موجة كهرمغنطيسية. وتلزم ستٌّ فقط من إشارات الفوتون الواحد هذه لكي يرى الدماغ ومضة. لكن العيون وآلات التصوير التجارية بعيدة عن أن تكون مثالية للعديد من المهمات، لأنها لا تستطيع أن تكشف سوى تلك الفوتونات التي تقع تردداتها في المدى المرئي الضيق. وأكثر من ذلك فإن قدراتها اللونية لا تتضمن قياس التردد (التواتر) المضبوط لكل فوتون.

وبالمقابل، فإن مكاشيف الفوتونات، العلمية منها والصناعية، تحدّق في المجالات الكهرمغنطيسية التي تقع خارج مدى الضوء المرئي ـ فهي تنظر في عالم الأشعة تحت الحمراء والموجات الميكروية[3]، حيث الترددات (التواترات) منخفضة (الأطوال الموجية طويلة، الطاقة منخفضة)؛ وفي عالم الأشعة السينية وأشعة گاما حيث الترددات عالية، ولكنها هي الأخرى محدودة في قدراتها. ويفتقر العلماء بصورة خاصة، بالنسبة إلى الأطوال الموجية المرئية والأطول منها، إلى مكشاف قادر على «رؤية» فوتون منفرد وعلى تمييز تردده، ومن ثم طاقته، بأي دقة كانت؛ ذلك أن تعيين تردد الفوتونات يفتح الباب أمام ثروة من المعلومات حول المادة التي أصدرت هذه الفوتونات.

تنطلق حاليا ثورة في كشف الفوتونات بابتكار مكاشيف أساسها الموصلية الفائقة، بإمكانها القيام بمثل تلك القياسات الدقيقة وبأمور أخرى غير عادية؛ إذ إن هذه الأدوات الجديدة تحسّن حساسية القياسات على مدى الطيف الكهرمغنطيسي، من الموجات

(*) SEEING WITH SUPERCONDUCTORS

(1) spatial: أو الحيّزي أو المكاني.

(2) البكسل pixel: هو «عنصر صورة»، وعنصورة نحت من هاتين الكلمتين.

(3) الموجة الميكروية microwave: هي إشعاع كهرمغنطيسي تقع أطوال موجاته بين مليمتر وعشرة سنتيمترات؛ و micro ـ: ميكروية (نسبة إلى الميكرون) أو ميكرونية أو ميكروئية أو صغرية. (التحرير)

يستطيع فوتون منفرد أن يمزق الآلاف مما يسمى أزواج كوبر من الإلكترونات الموجودة في مادة فائقة الموصلية. وبإمكان جيل جديد من المحسّات المبنية على هذا المبدأ كشف فوتون منفرد وتحديد طاقته بدقة كبيرة.

الراديوية إلى الضوء المرئي إلى أشعة كاما، تحسينا مذهلا. فالأجهزة المحسّنة المخصصة لقياس استقطاب الموجات الميكروية سوف تسبر قريبا اللحظات الأولى للكون بواسطة قياس الشكل الذي طبعته موجات الثقالة[1] من الانفجار الأعظم على الخلفية الكونية من الموجات الميكروية. والمكاشيف القادرة على عدّ فوتونات مرئية وحيدة تُحسّن أمن الاتصالات الكمومية. وفي السنكروترونات صار هناك مكاشيف فائقة الموصلية للأشعة السينية تستخدم لدراسة التركيب الكيميائي للمواد. ويطور الباحثون مكاشيف أشعة كاما بإمكانها القيام بعمل أكثر تميزا لتحديد هوية المواد النووية بغية منع سرقتها أو تهريبها عبر الحدود الدولية.

كذلك تتحسس الأجهزة الفائقة الموصلية، عدا كشفها الفوتونات، البوليميرات البيولوجية وتتقصى الجسيمات المتأثرة تأثرا ضعيفا التي تشكل المادة الخفية الغامضة المؤلّفة خمسة أسداس المادة في الكون. فالمكاشيف الفائقة الموصلية لاتزال في بداية تحقيق إمكاناتها العلمية والتجارية.

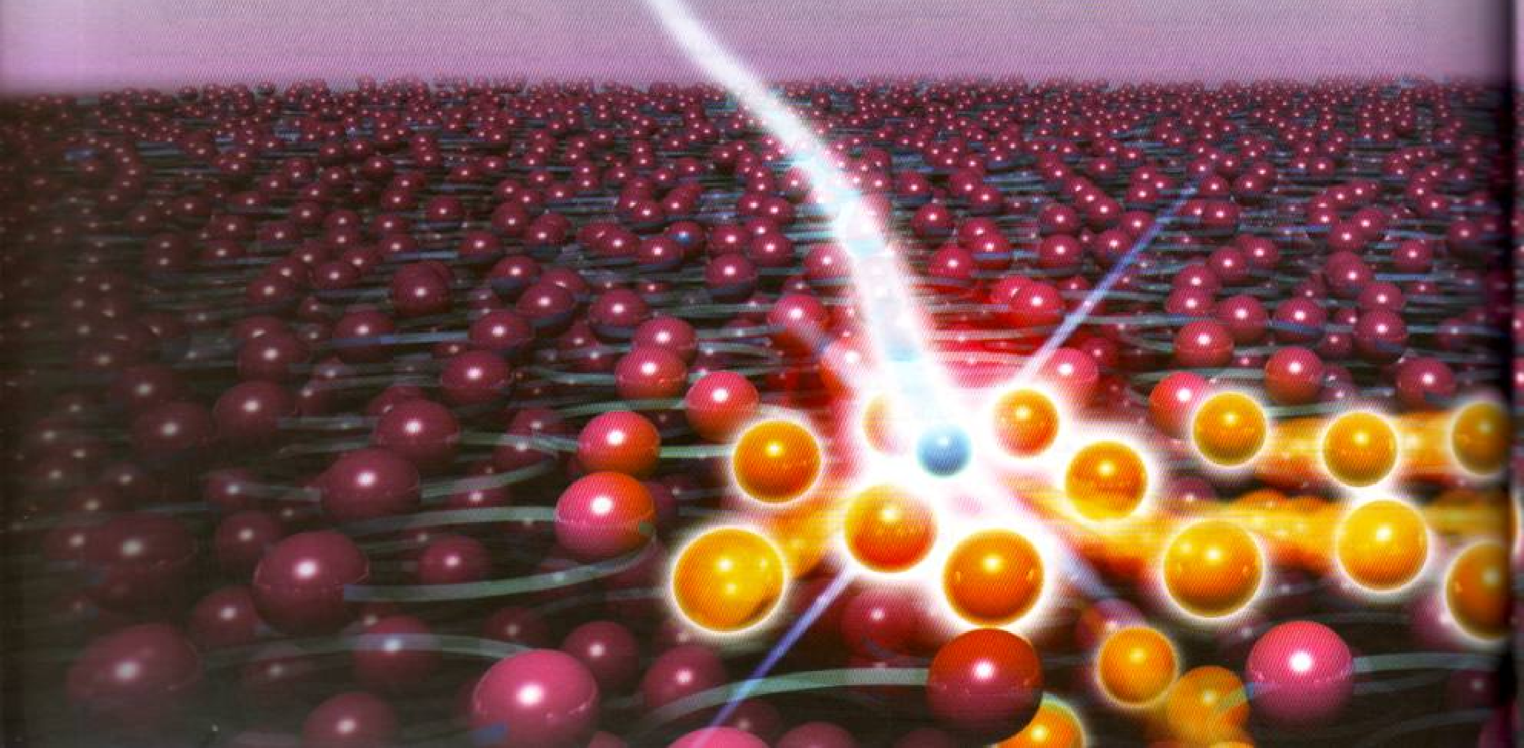
هشاشة مفيدة[*]

من الغريب حقا أن تكون خاصة الموصلات الفائقة التي حدّت من استخدامها في تطبيقات مثل نقل القدرة الكهربائية هي بالضبط الميزة التي تجعلها قيّمة بمثابة مكاشيف فوتونات. فالموصلية الفائقة، التي هي سريان التيار الكهربي من دون مقاومة، تنشأ حين ترتبط الإلكترونات في مادة مناسبة بعضها ببعض لتشكل ما يسمى **أزواج كوبر** Cooper pairs التي تسري عندئذ ككل، مثل مائع فائق. وهناك تأثير ميكانيكي كمومي هش مفاده أن الموصلية الفائقة لا تحدث في المادة إلا حين تُبرَّد هذه المادة إلى ما دون درجة حرارة منخفضة جدا، تدعى حرارة التحول الحرجة لهذه المادة. وتبريد المادة يُنقص اهتزازات ذراتها. فإذا ارتفعت درجة الحرارة فوق حرارة **العتبة (المبدى)** threshold أبعدت الطاقة الحرارية للتصادمات الاهتزازية الإلكترونين الشريكين في أزواج كوبر أحدهما عن الآخر وأزالت بذلك الموصلية الفائقة.

وبسبب هذه الحساسية للحرارة لا بد من تبريد العديد من الموصلات الفائقة إلى درجات قليلة فقط فوق الصفر المطلق (درجة 0 كلفن تساوي 273.15- درجة سلزية أو 459.69- درجة فهرنهايت). وتحتاج بعض الأنواع إلى درجات حرارة منخفضة لا تتجاوز أجزاء قليلة من المئة من الكلفن. ويمكن التوصل إلى هذه الدرجات المنخفضة جدا من الحرارة باستخدام مبرّدات متوافرة تجاريا تَستخدم إما الهليوم السائل أو سيرورة تدعى **إزالة المغنطة الكظوم (الأديباتية)**[2] adiabatic demagnetization، إلا أن الحاجة إلى مثل هذا التبريد تحظر العديد من التطبيقات. وعلى مدى سنين ناضل العلماء من أجل تطوير مواد ذات موصلية فائقة أكثر ثباتا وتبقى كذلك عند درجات حرارة أعلى.

ولكن هشاشة الموصلية الفائقة بحد ذاتها هي الصفة التي تجعلها مناسبة بصورة مثالية للاستخدام في المكاشيف الحساسة. وتعتمد مكاشيف الفوتونات الفائقة الموصلية على مقدرة طاقة فوتون منفرد على تمزيق[3] الآلاف من أزواج كوبر. عندئذ يمكن قياس التغير في حالة الموصلية الفائقة بعدة طرق بغية الكشف عن الطاقة التي أعطاها الفوتون. ولما كانت طاقة الفوتون متناسبة مع تردده، فإن هذا القياس يدل كذلك على تردد الفوتون، وهذا هو المفتاح للحصول على معلومات عن الجسم الذي أتى الفوتون منه.

(*) Useful Fragility
(1) gravity waves
(2) adiabatic: صفة تطلق على كل سيرورة تحدث في نظام حراري لا يصحبها تغير في درجة الحرارة.
(3) disruption
(التحرير)



إن المكاشيف شبه الموصلة العاملة عند درجة الحرارة العادية، مثل **الأجهزة ذات الشحنات المقترنة** charge-coupled devices (CCD) الموجودة في آلة تصوير رقمية، تعمل هي الأخرى بواسطة تشويش حالة كمومية في المادة. ففي حالة الجهاز CCD يصدم فوتون الضوء المرئي إلكترونا فيخرجه من نطاق طاقة في بلّورة شبه موصلة. ولكن الإلكترونات مرتبطة ارتباطا قويا في هذه النطاقات، لدرجة أن كل فوتون لا يحرر عادة سوى إلكترون واحد. وهذا التحرير قليل جدا لدرجة أنه لا يكفي لتحديد تردد الفوتون. ونتيجة لذلك لا يستطيع الجهاز CCD تعيين لون الفوتون مباشرة ـ أما آلات التصوير الرقمية فتشكّل صورا ملونة باستخدامها جملة مرشحات، أحدها أحمر والآخر أخضر والثالث أزرق، لا تمرر سوى الفوتونات التي تقع تردداتها في هذه المجالات.

وعلى النقيض من ذلك، فإن بإمكان فوتون مرئي واحد فصل[1] الآلاف من أزواج كوبر في الموصل الفائق. ويتيح تكوين آلاف الإثارات قياس الطاقة قياسا دقيقا، مثلما هو الأمر بالنسبة إلى استطلاع الرأي في الانتخابات الذي يكون أكثر دقة إذا استطلع رأي الألوف من الناس.

وتصنف المكاشيف التي تعمل على تحسس تمزق الموصلية الفائقة في صنفين رئيسيين. النوع الحراري الذي يبرُد حتى درجة حرارته الانتقالية بالضبط، وعندها لا يكون إلا جزئيا في حالة الموصلية الفائقة وتكون الإثارات الحرارية على وشك أن تخرب الموصلية الفائقة كليا. وأي طاقة تودع في الموصل الفائق ترفع درجة حرارته وتسبب ارتفاع مقاومته الكهربائية ارتفاعا ملموسا. أما النوع الآخر، المكشاف **الفاصل للأزواج** pair-breaking فهو على العكس من ذلك، إذ يبرَّد إلى درجة حرارة أخفض كثيرا من درجة حرارة الانتقال ويكون في حالة الموصلية الفائقة كليا. ويقيس هذا المكشاف عدد أزواج كوبر التي تحطمت عند إيداع الطاقة فيه.

هشاشة الموصلية الفائقة هي الصفة التي تجعلها ملائمة بصورة مثالية للمكاشيف الحساسة.

ويجب كذلك ذكر نوع آخر من أجهزة الموصلية الفائقة بغية استكمال الموضوع: يعمل «**المازج» الفائق الموصلية** superconducting "mixer" مثل مضخم للإشارات الكهرمغنطيسية المنخفضة التردد مثل الموجات الميكروية. ولما كانت هذه الأجهزة لا تستخدم هشاشة الموصلية الفائقة فلا داعي للحديث عنها أكثر من ذلك في هذه المقالة.

يعتمد النوع الحراري من المكاشيف على حقيقة أن المقاومة الكهربائية للموصل الفائق ترتفع بشكل حاد من الصفر إلى قيمتها الاعتيادية في المدى الضيق جدا من درجة الحرارة الذي تتحول فيه المادة من حالتها الفائقة الموصلية إلى حالتها العادية [*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*]. ويتيح التغير الفجائي في المقاومة للموصل الفائق أن يعمل عمل ميزان حرارة بالغ الحساسية. ويدعى المكشاف الذي يستخدم الانتقال الطوري الفائق الموصلية بهذه الطريقة **محسًا ذا حافة انتقالية** transition-edge sensor (TES) فحين يمتص المحسّ TES فوتونا تتحول طاقة الفوتون إلى طاقة حرارية ترفع درجة الحرارة ومن ثم تزيد مقاومة المادة بصورة متناسبة مع الطاقة المودعة. ويمكن، تبعا للمادة التي تمتص الفوتونات، أن يُستخدم المحسّ TES مثل مقياس طيف لقياس طاقة الأشعة السينية والأشعة گاما أو مثل عداد فوتونات عند الأطوال الموجية تحت الحمراء حتى المرئية أو مثل مكشاف قدرة إجمالية للإشعاع عند نُطق الموجات تحت الحمراء والمليمترية.

تم تطوير أوائل المكاشيف TES في الأربعينات لكنها لم تكن عملية على مدار سنين عديدة. وكانت المشكلة في أن مدى الانتقال إلى الموصلية الفائقة غالبا ما يكون أقل من جزء من ألف من الدرجة، ولذلك كان من العسير جدا إبقاء درجة حرارة الجهاز ضمن هذا المدى. وحين كنت طالب دراسات عليا مع «B. كابيرا» [في جامعة ستانفورد]، كانت مجموعتنا البحثية تطور صفيفات من المكاشيف TES لإجراء تجارب تهدف إلى دراسة النيوترينوهات الصادرة عن المفاعلات النووية وإلى كشف المادة الخفية. وقد تمكنّا من الحصول على عدد قليل من المكاشيف TES، ولكن تغيرات ضئيلة في درجة حرارة الانتقال لمختلف المحسات جعلت تشغيل صفيف منها عند درجة الحرارة ذاتها أمرا مستحيلا.

وفي عام 1993، أدركتُ أن حيلة بسيطة يمكن أن تحل هذه المشكلة ـ هي تطبيق قلطية ثابتة على المكاشيف، وهي تقنية تدعى **انحياز القلطية** voltage biasing. تؤدي القلطية المطبقة إلى مرور تيار كهربي عبر المكاشيف TES، وهذا يسخنها. وعند بلوغ درجة حرارة الانتقال ترتفع المقاومة، وهذا يُنقص التيار ويوقف التسخين. وهكذا يعمل التسخين الذاتي عمل **ارتجاع**[2] feedback سالب يعمل على إبقاء درجة حرارة الغشاء ضمن مجاله الانتقالي. ففي صفيف من المحسات المنحازة قلطيا يَسخن كل محس ذاتيا حتى بلوغ درجة حرارته الانتقالية، حتى إن اختلفت درجات الحرارة الانتقالية عن بعضها قليلا. كما أن الارتجاع السلبي يسرّع استجابة المكاشيف. وقد أدى إدخال

نظرة إجمالية/ المكاشيف الفائقة الموصلية[*]

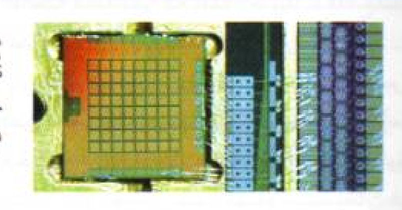
- إن المحسات القادرة على كشف جسيم منفرد من الضوء (فوتون) وتعيين طاقته أو على قياس إشارة فوتونات عديدة بصورة حساسة، لها تطبيقات علمية وتقانية لا تعد ولاتحصى، من بينها تطبيقات في: الأمن الوطني (كشف مواد يمكن أن تستخدم في سلاح نووي)، تحليل عيوب الشيپات الميكروية، الفلك، التحليل الكيميائي وفيزياء الجسيمات.
- هناك جيل ثوري جديد من هذه المحسّات مبني على خصائص الموصلات الفائقة وباستطاعة هذه المحسات قياس طاقة الفوتون بدقة عالية جدا. كما تتيح المحسّات الجديدة تشكيل الصور بسرعة كبيرة جدا.
- المكاشيف الجديدة نوعان. يعتمد النوع المسمى محسات حرارية على الكيفية التي تعمل بها طاقة الفوتون لترفع درجة حرارة مادة المكشاف. والنوع الآخر، المسمى مكاشيف فصل (تحطيم) الأزواج، يحس كيف يمزق الفوتون بعض أزواج الإلكترونات المسببة للموصلية الفائقة.

(*) Overview/ Superconducting detectors

(1) breaking، أو تحطيم.

(2) أو تغذية راجعة، أو تلقيم مرتد. (التحرير)

كيف يكشف موصل فائق الضوء(*)



مكاشيف الفوتونات الفائقة الموصلية نوعان رئيسيان، نوع حراري ونوع فاصل (محطم) للأزواج. وفي كلا النوعين تُعين طاقة الفوتون (ومن ثم تردده) من شدة إشارة خرج الجهاز. *في أقصى اليمين* صفيف من 64 عنصورة لمحس حراري يُستخدم في الوقت نفسه آلة تصوير بالأشعة السينية ومقياس طيف عالي الميز للأشعة السينية. أما الدارة في الجانب الأيمن من الصورة فهي سكويد **مُضاعف القنوات** multiplexer *(وصفه في الأسفل)*.

المكاشيف الحرارية

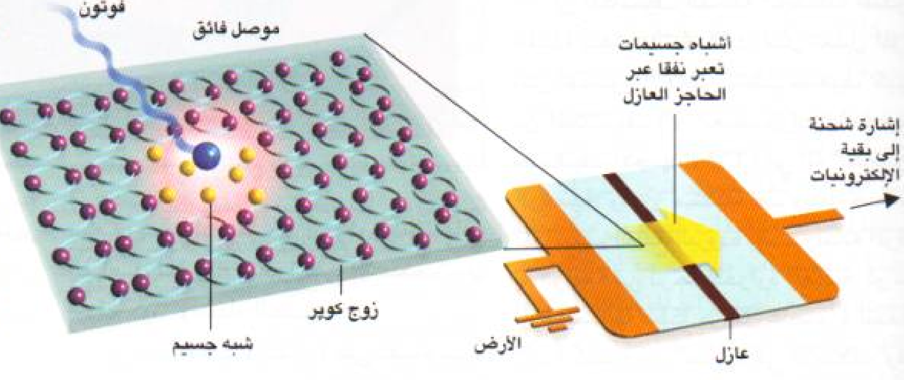
أكثر أنواع المكاشيف الحرارية الفائقة الموصلية هو **المحس ذو الحافة الانتقالية** transition-edge sensor الذي يُبرَّد إلى منتصف مدى درجات الحرارة الضيق جدا الذي تتغير فيه مادته الفعالة من فائقة الموصلية إلى عادية *(المخطط العلوي)*. وتعمل فلطية انحياز على بقائه مستقرا عند درجة الحرارة الانتقالية تلك وعلى سريان تيار كهربي ثابت. وعند امتصاص المحسّ فوتونا فإنه يسخن قليلا مدة قصيرة *(المخطط السفلي)*، وهذا يؤدي إلى زيادة ذات شأن في مقاومة المحسّ. ويقوم جهاز فائق الموصلية، يسمى السكويد، بكشف الهبوط اللحظي في التيار ويحوّل هذه الإشارة إلى نبضة فلطية يمكن تضخيمها فيما بعد بواسطة الإلكترونيات المعتادة، وذلك قبل جمع البيانات.





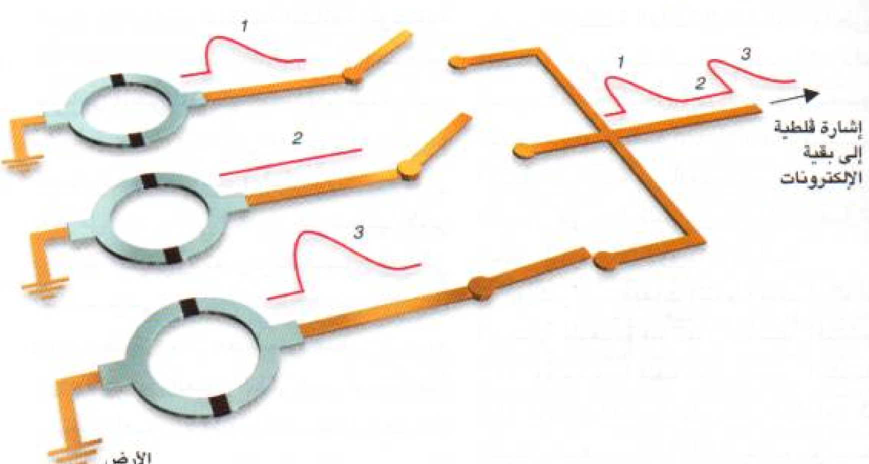
مكاشيف فاصلة للأزواج

يبرَّد النوع الآخر من المحسّات كليا إلى طوره الفائق الموصلية الذي تشكل فيه إلكتروناته أزواج كوپر. يمتلك فوتون منفرد طاقة كافية لتمزيق الآلاف من أزواج كوپر، فتحطمها وتحولها إلى إلكترونات مثارة تعرف بأشباه الجسيمات *(الشكل الأيسر)*. ومع أن المادة تبقى فائقة الموصلية، فمن الممكن كشف أشباه الجسيمات لأنها، بخلاف أزواج كوپر، تستطيع العبور نفقيا عبر الحاجز العازل فتنتج نبضة شحنة تمرَّر إلى الإلكترونيات المعتادة *(الشكل الأيمن)*.



إرسال صورة بواسطة مضاعفة[1] القنوات

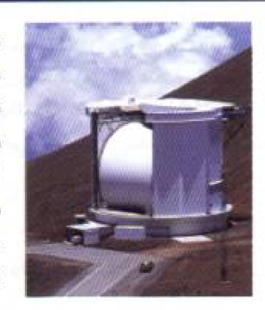
يتم تشكيل الصورة بواسطة صفيفات كبيرة من المكاشيف، لكن جميع إشارات الخرج الآتية من المكاشيف يجب أن توحَّد في عدد أصغر من خطوط البيانات، وهذه سيرورة تعرف **بمضاعفة القنوات** multiplexing. فعلى سبيل المثال، توصل مخارج عدد من السكويدات إلى خط بيانات واحد، فيما تسمى مضاعفة القنوات بتقسيم الزمن، إلى المحسات ذات الحافة الانتقالية. وتعمل السكويدات عمل مبدّلات تغلق بالتتابع واحدا إثر آخر فتحول شكل إشارات المكشاف (1-3) إلى متتالية من النبضات. وتقوم الإلكترونيات فيما بعد بتحديد أي نبضات تخص كل مكشاف بواسطة التوقيت الدقيق.



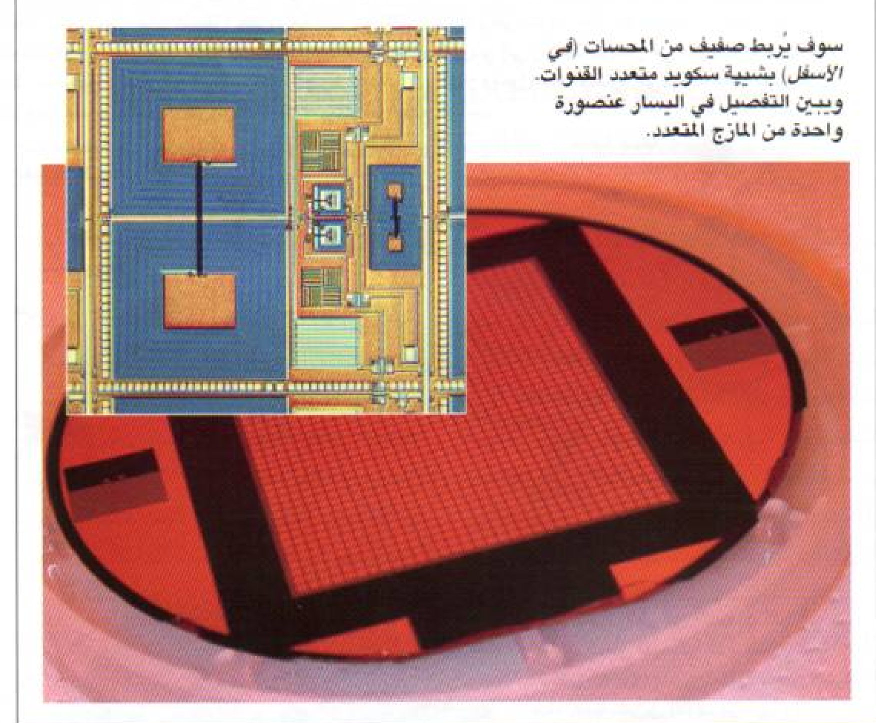
(*) HOW A SUPERCONDUCTOR DETECTS LIGHT

(١) أو تضميم، أو تعددية.

الفلك دون المليمتري(*)



تتيح الأرصاد الفلكية عند أطوال موجية أقصر قليلا من المليمتر دراسة مناطق داخل السحب الجزيئية تكون مخفية عند أطوال موجية أخرى. فمثل هذه السحب تقوم بدور مهم في مناطق تشكل الكواكب والنجوم والمجرّات. وسوف يصبح تناول هذا المدى المستعصي من الأطوال الموجية أكثر سهولة بكثير مع تطوير آلة التصوير SCUBA-2 التي سوف تركّب في مقراب جيمس كليرك ماكسويل (*في اليمين*) على قمة مونا كيا Mauna Kea في هاواي في عام 2007. وتحوي آلة التصوير ثمانية صفيفات في كل منها 1280 محسا ذا حافة انتقالية.



سوف يُربط صفيف من المحسات (*في الأسفل*) بشيبة سكويد متعدد القنوات. ويبين التفصيل في اليسار عنصورة واحدة من المازج المتعدد.

انحياز القُلطية إلى نمو هائل في تطوير صفيفات المكاشيف TES في العالم كله.

عدّ أشباه الجسيمات(**)

لا يمكن للمكشاف الفاصل للأزواج أن يعتمد على التغير في المقاومة الكهربائية لكي يعطي إشارة امتصاص فوتون، بخلاف المحس الحراري. فالفوتون الوارد يحطم أزواج كوبر ويكوّن أشباه جسيمات يمكن اعتبارها، لمعظم الأغراض، بمثابة إلكترونات حرة في مادة أخرى فائقة الموصلية. ويكون عدد أشباه الجسيمات المستحدثة متناسبا مع طاقة الفوتون. ولكن لما كان المكشاف مبردًا إلى ما دون درجة حرارته الانتقالية بكثير، فلا يزال ثمة بحر من أزواج كوبر السالمة، وبذا تبقى المقاومة الكهربائية معدومة. ولذا ينبغي أن يكون المكشاف الفاصل للأزواج قادرا على التمييز بين أزواج كوبر وأشباه الجسيمات.

إن أحد الأجهزة القادرة على القيام بهذه المهمة هو **الوصلة النفقية الفائقة الموصلية** superconducting tunnel junction، المؤلفة من غشاءين فائقي الموصلية تفصلهما طبقة رقيقة من مادة عازلة. فإذا كان العازل رقيقا لدرجة كافية (نحو 2 نانومتر)، أمكن للإلكترونات أن تعبر من أحد جانبي الحاجز إلى الجانب الآخر بواسطة سيرورة تُعرف **بالعبور النفقي الكمومي** quantum-mechanical tunneling. ويؤدي تطبيق مجال مغنطيسي صغير إلى منع أزواج كوبر من العبور النفقي عبر الوصلة، فلا يستطيع العبور إلا أشباه الجسيمات. بعد ذلك يمكن تطبيق قُلطية على الجهاز، فلا يمر تيار إلا حين يمتص أحد الغشاءين الفائقي الناقلية فوتونا يولّد أشباه جسيمات. وتكون نبضة التيار الناتجة متناسبة مع عدد أشباه الجسيمات المستحدثة وإذًا مع طاقة الفوتون وتردده.

يقوم حاليا فريق يقوده <J. زميدزيناس> [من معهد كاليفورنيا للتقانة] و<P. داي> [من مختبر الدفع النفاث Jet Propulsion] بتطوير جهاز آخر لقياس عدد أشباه الجسيمات في موصل فائق. وهو يدعى **مكشاف التحريضية (المحاثة) الحركية الميكروية الموجات** microwave kinetic inductance detector. وهو يستفيد من حقيقة أن بنية فائقة الموصلية يمكن أن يكون لها تجاوب (رنين) كهرمغنطيسي عند تردد الموجات الميكروية مثلما أن **للشوكة الرنانة** tuning fork تجاوبا ميكانيكيا عند تردد مسموع (الشوكة الرنانة تتذبذب فيما الموصل الفائق يفسح مجالا لتيار كهربي مهتز). فحين تكوّن الفوتونات أشباه جسيمات في موصل فائق يصبح التجاوب أقل حدة ويتباطأ انتشار الموجة، وهذا يخفض تردد التجاوب. ويتناسب الانزياح في كل من تردد التجاوب وفي حدته مع عدد أشباه الجسيمات. والنتائج الأولية من هذه الأجهزة واعدة إلى أبعد حد.

إن المكاشيف الفائقة الموصلية المنفردة مفيدة لبعض التطبيقات، مثل تحليل المواد، لكن التصوير العملي يتطلب صفيفا كبيرا من المكاشيف (أو العنصورات) شبيها بصفيف الأجهزة CCD في آلة التصوير الرقمية. وتبرز مشكلة عند وصل صفيف المكاشيف البالغ البرودة بإلكترونياته المرفقة به الواقعة في درجة الحرارة العادية: لو مرر المرء ببساطة سلكا من كل عنصورة لتدفقت كمية كبيرة من الحرارة في الأسلاك، وهذا يخرب الموصلية الفائقة للمكشاف. والطريقة الأفضل هي استخدام توصيلات داخل الجزء البالغ البرودة من الجهاز بصورة تتحد، أو **تنضم** multiplexed، فيها الإشارات الآتية من العديد من العنصورات فتسري في عدد قليل من الأسلاك تصل بين الجزء البارد والإلكترونيات الدافئة.

وأكثر الصفيفات المتاحة تقدما، الفائقة الموصلية المتعددةُ قنواتها، أساسُها المكاشيف TES. وكما بينا آنفا، حين يمتص المكشاف TES فوتونا يتغير التيار عبر المكشاف. لكن التيار صغير جدا ولذلك يقاس بواسطة

SUBMILLIMER ASTRONOMY (*)
Counting Quasiparticles (**)

وصل كل عنصورة **بجهاز تداخل كمومي فائق الموصلية** superconducting quantum interference device (أو سكويد SQUID) لا يحدّ من حساسيته سوى الميكانيك الكمومي [انظر: «*أدوات تداخل كمومية فائقة التوصيل*»، **العلوم**، العدد 10 (1996)، ص 51]. يحوّل السكويد نبضة التيار الصغيرة جدا إلى إشارة فلطية كبيرة لدرجة تكفي لأن تقاس بواسطة الإلكترونيات العادية. ويمكن مضاعفة قنوات إشارات الخرج من العديد من السكويدات بجمع فلطياتها وإرسال المحصلة في سلك واحد، إلا أن هناك ما ينبغي القيام به بعد ذلك لكي يكون بالإمكان تمييز الإشارات الآتية من كل مكشاف على حدة. ففي **مضاعفة القنوات ذات التقسيم الزمني** time-division multiplexing تُشغَّل السكويدات واحدا واحدا، في حين في **مضاعفة القنوات ذات التقسيم الترددي** frequency-division multiplexing تعمل السكويدات عند ترددات مختلفة، وهذا يتيح فصل (تحليل) إشاراتها لاحقا.

كذلك يمكن مضاعفة قنوات العنصورات في مكشاف التحريضية (المحاثة) الحركية الميكروية الموجات (النوع الذي يهتز مثل الشوكة الرنانة) بواسطة توليفها عند ترددات تجاوبية (رنينية) مختلفة ووصلها جميعها على التوازي وقراءتها بواسطة ترانزستور بارد واحد وخط خرج واحد يصل إلى مضخم في درجة الحرارة العادية. وقد تبين حتى الآن أن مضاعفة قنوات صفيفات كبيرة من مكاشيف الوصلة النفقية أمر صعب، مع أن التقنيات الجديدة لاستعراض قراءة الموجات الميكروية يمكنها أن تجعل الصفيفات المتعددة قنواتها ممكنة التحقيق.

تطبيقات لا تعد ولا تحصى(*)

إن المكاشيف الفائقة الموصلية المتاحة اليوم أكثر حساسية 100 إلى 1000 مرة من المكاشيف العادية التي تعمل عند درجة حرارة الغرفة. وهذه الأجهزة تحسّن القياسات في مدى واسع من المجالات.

منع انتشار الأسلحة النووية والدفاع الوطني. إن إحدى الأولويات الدولية المستعجلة هي مراقبة انتشار المواد النووية التي يمكن أن تستخدم في هجوم يقوم به إرهابيون أو دول مارقة. تحتوي المواد النووية على نظائر غير مستقرة تصدر الأشعة السينية وأشعة گاما. وتوافر الطاقات المميزة لهذه الفوتونات بصمة تكشف عن ماهية النظائر المشعة الموجودة. ولكن لسوء الحظ تُصدر بعض النظائر الموجودة في تطبيقات حميدة أشعة گاما ذات طاقات شبيهة جدا بتلك التي تصدرها مواد تستخدم في الأسلحة، وهذا يؤدي إلى تحديد ملتبس وإلى تحذيرات زائفة.

كانت هذه المشكلة تربك الولايات المتحدة التي تركّب آلاف أجهزة مراقبة الإشعاع عند المداخل الحدودية لكشف أشعة گاما التي تصدرها المواد النووية المحمولة في عربات تعبر الحدود الكندية والمكسيكية. فأحد أكبر مخاوفنا هو أن يتمكن الإرهابيون من تهريب يورانيوم عالي التخصيب (من النوع الذي يستخدم في الأسلحة) إلى البلاد لصنع قنبلة ذرية بدائية من النمط الذي ألقي على هيروشيما [انظر: «*إحباط الإرهاب النووي*»، **العلوم**، العددان 9/8 (2006)، ص 46]. إن البصمة الأولى لليورانيوم العالي التخصيب تتمثل في أشعة گاما ذات الطاقة 185.7 كيلوإلكترون فلط (keV) الصادرة عن اليورانيوم 235. لكن أشعة گاما هذه لها الطاقة نفسها تقريبا مثل أشعة گاما 186.1 keV التي تصدر عن الراديوم 226 الموجود في الطين في الحاويات المخصصة للقطط وفي مواد أخرى، وهذا يجعل التمييز بين الاثنتين صعبا جدا. هذه المشكلة المسماة **مشكلة حاوية الهرّة** kitty litter problem هي أكبر مصدر للتحذيرات الزائفة عند حدود الولايات المتحدة.

وقد قام فريق يقوده <M. رابين> [من مختبر لوس ألاموس الوطني] و<J. أولّوم> [من المعهد الوطني للمعايير والتقانة (NIST) في بولدر بكولورادو] وفريق آخر [في مختبر ليفرمور الوطني] بتطوير مكاشيف أشعة گاما مبنية على أساس التقانة TES وتتمتع بقدرة تمييز طاقية تفوق أكثر من عشر مرات تلك التي للمكاشيف العادية؛ إذ تستطيع هذه المكاشيف فصل عدد أكبر من الخطوط في طيوف أشعة گاما المعقدة للمواد النووية، مثل مزائج نظائر اليورانيوم والبلوتونيوم [*انظر الرسمين البيانيين في الصفحة 50*]. وقد طُوِّرت هذه الأجهزة خصوصا للمساعدة على التحقق من المعاهدات الدولية حول عدم الانتشار، وذلك بواسطة تعيين المحتوى من البلوتونيوم في الوقود النووي المستهلك. ولكن بإمكانها أن تميز كذلك بين الراديوم 226 في حاويات القطط واليورانيوم 235 في اليورانيوم العالي التخصيب. فلو أن مكشافا عاديا محمولا باليد أو جهاز مراقبة المداخل كشف إشارة أشعة گاما، لكان بالإمكان استخدام أحد الأجهزة الفائقة الموصلية أداةً لمتابعة التمييز بصورة لا لبس فيها بين هذين النظيرين، فينتفي بذلك العديد من التحذيرات الزائفة.

يحتاج التصوير العملي إلى صفيف كبير من المكاشيف، شبيه بصفيف الأجهزة CCD في آلة التصوير الرقمية.

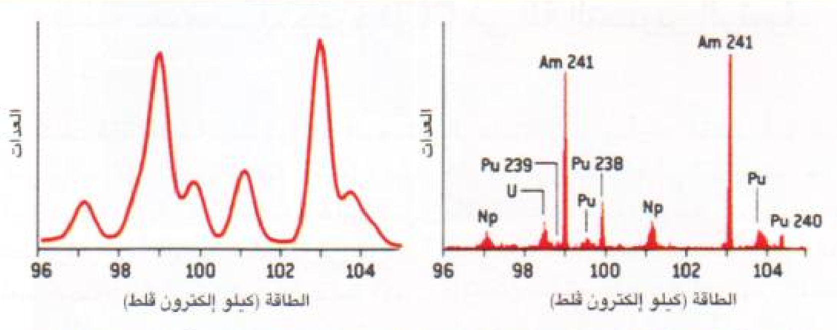
تحليل الشيبات الميكروية. أحد التطبيقات المهمة في صناعة أشباه الموصلات هو التحليل الميكروي (الدقيق) بواسطة المجس الإلكتروني[1]. فحين يشكل **مجهر إلكتروني ماسح** scanning electron microscope صورة لعيّنة ما، فإن حزمة الإلكترونات تجعل العينة تصدر أشعة سينية. فيمكن إذًا تعيين تركيب العينة الكيميائي في النطاق النانومتري للحزمة بواسطة قياس طاقات مختلف الأشعة السينية الصادرة. وحين تمسح الحزمة كامل العينة تُظهر الصورة الحاصلة أين توجد مختلف المركبات الكيميائية، فتعطي خريطة للبنى التي تحدد كيفية عمل الشيبة الميكروية.

تستخدم صناعة أشباه الموصلات حاليا مكاشيف شبه موصلة للأشعة السينية بغية دراسة البنى والعيوب الموجودة على الشيبات الميكروية. ولكن لما صارت الشيبات الميكروية تستخدم بنى أصغر، فإن الأمر يتطلب أجيالا جديدة من أدوات التحليل الميكروي تتصف بحساسية أعلى. وقد تصدت مجموعتي في

(*) Myriad Applications

(1) electron-probe microanalysis





تُستعمل المكاشيف حاليا في المرافئ وأمكنة أخرى التحري عن المواد النووية المهرَّبة إلى البلاد (*الصورة*). ليس بمقدرة المكاشيف شبه الموصلة العادية التمييز بين بعض النظائر في عينة اختبار (*الرسم البياني الأيسر*). أما القياسات التي تجرى بواسطة مكشاف فائق الموصلية فيمكنها فصل الخطوط جميعها بوضوح (*الرسم البياني الأيمن*)، بما في ذلك وجود البلوتونيوم 239، النظير المفضَّل للأسلحة النووية.

المعهد NIST لهذا التحدي بأن طورت منظومة تحليل ميكروي مبنية على أساس المكاشيف TES ذات قدرة مَيز طاقية أفضل 50 مرة من المكاشيف شبه الموصلة المتوافرة تجاريا، وهذا مكنها من فصل العديد من قمم الأشعة السينية الطيفية المهمة. ومثل هذه المنظومات للتحليل الميكروي صارت حاليا متاحة تجاريا.

الفلك دون المليمتري. الفلك حقل حافل بالفرص بالنسبة إلى المكاشيف الفائقة الموصلية. وكثيرا ما كان الفلكيون وراء تطوير تقانات مكاشيف جديدة بسبب حاجتهم إلى قياس إشارات ضعيفة جدا آتية من أجسام نائية.

تعمل مجموعتي في المعهد NIST مع مركز التقانة الفلكية البريطاني في إدنبورك ومع الشركة Raytheon Vision Systems في كوليتا بكاليفورنيا ومع جامعات في المملكة المتحدة وكندا لتطوير آلة تصوير فائقة الموصلية تدعى SCUBA-2 لاستخدامها في **مقراب** telescope جيمس كليرك ماكسويل فوق قمة مونا كيا Mauna Kea في الجزيرة الكبيرة بهاواي. وسوف يحل المكشاف SCUBA-2 محل المكشاف (Submillimeter Common-User Bolometer Array) SCUBA الذي هو مكشاف أساسه صفيف من أشباه الموصلات كان قد طوره مركز التقانة الفلكية البريطاني. والمكشاف SCUBA يصور مناطق تشكل الكواكب والنجوم والمجرات بواسطة كشف الأشعة التي أطوالها الموجية دون المليمتر، وهي أقصر من الموجات الميكروية لكنها أطول من الضوء المرئي.

وحتى زمن قريب، لم يكن باستطاعة الفلكيين الوصول إلى هذا المدى من الأطوال الموجية، لأن طاقة الفوتونات في النطاق دون المليمتري صغيرة لا تكفي لإحداث إثارة في شبه الموصل، لكن ترددها أعلى من أن يمكن تضخيمه بصورة فعالة بواسطة مستقبلات شبيهة بمستقبلات الراديو. ولكن المدى دون المليمتري حقيق بأن يُتابَع، لأنه يحتوي على 98 في المئة من الفوتونات التي انبعثت منذ الانفجار الأعظم. ويتيح هذا المدى، ضمن ما يتيح، رصد مناطق داخل السحب الجزيئية تكون مخفية عند الأطوال الموجية الأخرى. يعمل المكشاف SCUBA بواسطة كشف تسخين عنصوراته شبه الموصلة المبرَّدة البالغ عددها 128، وهذه عملية أبطأ وأقل حساسية بكثير من التقانة الفائقة الموصلية المعتمدة في المكشاف SCUBA-2.

سيكون المكشاف SCUBA-2، حين يُستكمل، مؤلفا من 10 000 عنصورة استعراض قراءة المكشاف TES مع **مضاعفات قنوات** multiplexers فائقة الموصلية، وسوف يتيح تصوير أجسام فلكية بسرعة أكبر حتى 1000 مرة. وقد صُنعت صفيفات النموذج الأولي للمكشاف SCUBA-2 ذات 1280 عنصورة [*انظر الإطار في الصفحة 48*]. وينبغي أن تكون آلة التصوير الكاملة في حالة عمل في المقراب بحلول عام 2007. وهناك العديد من منظومات المكاشيف الفائقة الموصلية في مجالي الموجات المليمترية ودون المليمترية قيد التطوير لمختلف المراصد والسواتل.

الكوسمولوجيا (علم الكون). في السنين الأخيرة أتى بعض أهم الاكتشافات حول فهمنا للكون من قياس إشعاع **الخلفية الكونية من الموجات الميكروية** cosmic microwave background (CMB). فالفوتونات في الخلفية الكونية CMB هي صورة لحظية للكون بعد نحو 400 000 سنة من الانفجار الأعظم، لأن معظم فوتونات الخلفية CMB مرت عبر الكون أثناء الـ13 بليون سنة الماضية من دون أي تغير. وأحدثت الموجات الصوتية في پلازما الكون المبكر نماذج في إشعاع الخلفية CMB يراها الفلكيون اليوم [انظر «*السيمفونية الكونية*»، **العلوم**، العددان 5/4 (2004)، ص 56]. وقد أظهرت قياسات هذه النماذج، إضافة إلى أرصاد كوسمولوجية أخرى، أن 5 في المئة من الكون الحالي فقط يتألف من المادة والطاقة العاديتين المألوفتين بالنسبة إلينا، وأن نحو 22 في المئة هي **مادة خفية** dark matter و73 في المئة هي حقل غامض يعرف **بالطاقة الخفية** dark energy.

وإضافة إلى النماذج المتأتية عن الموجات الصوتية هناك نماذج أكثر رهافة ينبغي أن تكون قد طُبعت على استقطاب إشعاع الخلفية الكونية CMB بواسطة

موجات الثقالة التي كانت قد تولّدت أثناء فترة تمدد كوني أسّي يعرف **بالتضخم** inflation. وهو ما يسمى **الخلفية الكونية من الموجات الثقالية** cosmic gravity-wave background (في الضوء المستقطب يكون المجال الكهربي من الموجة الكهرمغنطيسية ذا منحى معين عوضا عن أن يكون مهتزا في جميع الاتجاهات بصورة عشوائية). وقد نشأ استقطاب الإشعاع CMB هذا حين تبعثر الإشعاع عن البلازما الأولية، تماما مثلما يستقطب الضوء المرئي حين ينعكس عن سطح ما.

سرعان ما سيستخدم الفلكيون مكاشيف فائقة الموصلية ذات حساسية للاستقطاب للبحث عن الخلفية الكونية من الموجات الثقالية. في البداية سوف تستخدم هذه الأجهزة مقاريب متخصصة موجودة على الأرض وكذلك محمولة في مناطيد عالية الارتفاع. وفيما بعد، تخطط الوكالة ناسا لإطلاق ساتل يدعى **مجس التضخم** Inflation Probe للقيام بالقياسات النهائية لاستقطاب الخلفية CMB. ويمكن أن يوافر القياس الناجح لنماذج الموجات الثقالية هذه فهما أعمق للفيزياء التي كانت سائدة أثناء الجزء الأول من تريليون من تريليون من تريليون من الثانية بعد الانفجار الأعظم، حين حدثت التأثرات عند الطاقة التي كانت القوى جميعها عندها، ما عدا الثقالة، موحدة في قوة واحدة. كان الفيزيائيون يحلمون دائما، منذ آينشتاين، بالتحري المباشر لنظام «التوحيد الكبير» هذا، إلا أن طاقة أكبر مسرِّعات الجسيمات الموجودة على الأرض أخفض تريليون مرة من الطاقة اللازمة. وسوف تساعد المكاشيف الفائقة الموصلية العلماء على استخدام مختبر الكون للوصول إلى طاقات لا يمكن الوصول إليها أبدا بالتجارب الأرضية.

صفيفات عملاقة(*)

إن الإمكانات الكاملة للمكاشيف الفائقة الموصلية لم تتحقق بعد، على الرغم من التقدم الهائل الذي أُحرز في تقانة هذه المكاشيف في العقد الماضي. وأهمية الأجهزة CCD لم تُدرك تماما إلا بعد أن أُخذت الصور بواسطة صفيفات كبيرة جدا من العنصورات. وإذا نظرنا إلى المستقبل وجدنا أن صفيفات ذات مقياس كبير من المكاشيف الفائقة - تحوي حتى 10 000 عنصورة عند الأطوال الموجية المليمترية وملايين العنصورات في نطاق الأشعة السينية - سوف تُطوّر باستخدام تقنيات تصنيع جديدة ويتضمن مضاعفة قنوات الإشارة عند الترددات الميكروية، وهذا سوف يتيح استعراض قراءة عدد أكبر كثيرا من العنصورات في سلك واحد. ويعمل المهندسون على تطوير **نظم قرّية**(1) cryogenic systems أصغر وأرخص لتبريدها. وسوف يكون لهذه الصفيفات الكبيرة الفائقة الموصلية تأثير حتى في مجال أوسع من فروع المعرفة. وسوف تبقى الصفيفات ذات «عنصورات» أقل من تلك التي في الشبكية البشرية، إلا أنها سوف تأخذ الرؤية البشرية إلى عوالم جديدة مثيرة من الاكتشاف. ■

استخدامات أخرى(**)

تجربة في السنكروترون في مختبر لورنس بيركلي الوطني.

صارت المكاشيف الفائقة الموصلية، إضافة إلى استخداماتها المذكورة في النص الرئيسي، تستخدم في المجالات الآتية:

- مطيافية الأشعة السينية في السنكروترونات (*اليمين*)، بما في ذلك التحليل الكيميائي للمعادن في البروتينات وفي عينات أخرى.
- الكشف الفعّال عن پوليمرات بيولوجية كبيرة وعن شظايا **الدنا** DNA في مقاييس الطيف الكتلي، وهذا له تطبيقات في **الجينوميات** (**علم الجينوم**) genomics **والپروتيوميات** (**علم الپروتينات**) proteomics واكتشاف الأدوية وتحليل المركّبات الطبيعية.
- عدّ الفوتونات عند الأطوال الموجية (*تحت الحمراء*) المستخدمة في الاتصالات من أجل التعمية الكمومية.
- البحث عن جسيمات كبيرة الكتلة متأثرة تأثرا ضعيفا، يفترض أنها تشكل المادة الخفية في الكون.

K. D. I.

sa
للمزيد حول عدّ الفوتونات وتطبيقات المادة الخفية انظر:
www.sciam.com/ontheWeb

(*) Giant Arrays
(**) Other Uses
(1) cryogenic system: جهاز شديد البرودة يحفظ درجة الحرارة في داخله بحيث تكون أقل مما هي في خارجه. (التحرير)

المؤلف

Kent D. Irwin

يقود مشروع المحسات الكمومية في المعهد الوطني للمعايير والتقانة NIST في بولدر بولاية كولورادو، وهو أستاذ مساعد للعلوم الفيزيائية الفلكية والكوكبية بجامعة كولورادو في بولدر. وقد حصل على البكالوريوس من معهد كاليفورنيا للتقانة وعلى الدكتوراه من جامعة ستانفورد. تشمل اهتماماته البحثية القياسات الدقيقة للإشارات الكهرمغنطيسية للفيزياء الكونية وكذلك الحدود الترموديناميكية والكمومية للمحسات والمكاشيف. حصل فريقه على المدالية الذهبية لوزارة التجارة وعلى جائزة البحث التطبيقي للمعهد NIST لعمله في المكاشيف الفائقة الموصلية.

مراجع للاستزادة

Low-Temperature Particle Detectors. Norman E. Booth, Blas Cabrera and Ettore Fiorini in *Annual Reviews of Nuclear and Particle Science*, Vol. 46, pages 471–532; 1996.

Quantum Calorimetry. Caroline K. Stahle, Dan McCammon and Kent D. Irwin in *Physics Today*, Vol. 52, No. 8, pages 32–37; August 1999.

Seeing Single Photons. Graham P. Collins in *Scientific American*, Vol. 290, No. 1, page 17; January 2004.

Transition-Edge Sensors. K. D. Irwin and G. C. Hilton in *Cryogenic Particle Detection*. Edited by Christian Enss. Springer-Verlag, 2005.

Scientific American, November 2006

أسرار البراكين العملاقة(*)

تكشف بلورات ميكروية في الرماد البركاني عن أدلة مدهشة على أكثر الاندفاعات البركانية تدميرا في العالم.

<I. N. بايندمان>

تحت سطح الأرض في ولايتي كاليفورنيا ووايومنگ، يكمن بركانان في حالة سبات كانا قد ضربا المنطقة بعنف بالغ لا يمكن تصوره. وإذا ثارا فقد يغطيان خلال ساعات غرب الولايات المتحدة بسنتيمترات متعدِّدة من الرماد البركاني. وبالفعل فقد ثارا على الأقل أربع مرات خلال المليوني سنة الماضية. وثمة براكين عملاقة أخرى مماثلة تكمن تحت أندونيسيا ونيوزيلندا.

ويكون لانفجار **بركان عملاق (سوبر بركان)** supervolcano القوة المدمِّرة نفسها لنجيم صغير يصطدم بالأرض ـ وقد تكون هذه القوة أحيانا أشد بعشر مرات، ما يجعل مثل هذا الانفجار أحد أكثر الكوارث الطبيعية تدميرا وينبغي للبشر توقّع حدوثها. وإضافة إلى ما تسبِّبه البراكين العملاقة الثائرة من دمار مباشر ناجم عن تدفق الرماد البركاني المُحرق، تقذف هذه البراكين العملاقة الناشطة غازات تؤدّي فيما بعد إلى تقلبات مناخية خطرة على الكرة الأرضية قد تدوم عدة سنوات.

ولذلك يتلهف الباحثون إلى معرفة الأسباب التي تؤدّي إلى اندفاع البراكين العملاقة ومعرفة كيفية التنبؤ بزمن ما سوف تُحدثه ثانية من دمار وما هي التحديات التي يمكن أن تستتبع آثارها الكارثية. وقد أشارت التحاليل الحديثة للبلورات الميكروية في رواسب الرماد البركاني الناتج من الاندفاعات البركانية القديمة إلى بعض الأجوبة. وهذه الأفكار، إضافة إلى التقنيات المحسَّنة لمراقبة مواقع الكوارث المحتملة، جعلت العلماء أكثر ثقة بإمكان تحديد إشارات منذرة قبل وقوع انفجار اندفاع كبير. ومع ذلك تُلمّح الأعمال الجارية إلى أنّ انبعاثات بركان عملاق يمكن أن تُطلق تفاعلات كيميائية مزعجة في الغلاف الجوي جاعلة الأشهر التي تعقب مثل هذا الحدث أكثر خطورة ممّا كان يظنّ من قبل.

يسود اتفاق كامل تقريبا بين جميع خبراء البراكين أنّه من غير المحتمل إلى أبعد الحدود أن يعاني الذين يعيشون حاليا على الكرة الأرضية تأثيرات بركان عملاق ناشط؛ إذ تنزع الاندفاعات البركانية الكارثية إلى الحدوث مرة واحدة كل عدة مئات من آلاف السنين. ومع ذلك فإنّ ضخامة مثل هذه الأحداث وتأثيراتها في الكرة الأرضية هيمنت على اهتمام العلماء منذ خمسينات القرن الماضي.

رَهْبَة مبكرة(**)

من الأشياء الأولى التي اكتشفها الجيولوجيون، وديان دائرية ضخمة ـ بقطر يراوح بين 30 و 60 كم وعمق عدة كيلومترات ـ وهذه الوديان تبدو مشابهة على نحو لافت للنظر إلى **الكلديرات** calderas الحوضية الشكل التي تقع على قمة الكثير من براكين الكرة الأرضية المشهورة. تتشكّل الكلديرات بصورة نموذجية عندما تُفْرِغ حجرةُ الصخور المنصهرة الواقعة تحت منفس بركاني محتواها (من **الصُّهارة** magma) إلى سطح الأرض مسببة بذلك انهيار الأراضي التي فوقها. ويلاحظ أنّ هذه الوديان الشبيهة بالكلديرات تقع بالقرب من بعض أكبر الرواسب على الكرة الأرضية من الصخور البركانية التي توضّعت خلال انفجار بركان واحد. وبحسب ما توصّل إليه الباحثون فإنّ تلك الرواسب ما هي إلاّ بقايا براكين عملاقة ـ أكبر بمئات، بل بآلاف، المرات من البركان Mount Saint Helens المشهور في ولاية واشنطن. عرف الباحثون، من المقاس المفرط للكلديرات والحجم العملاق المقدّر من المواد البركانية المندفعة، أن حجم حجرات الصخور المنصهرة الموجودة تحتها كان هائلا أيضا.

وبسبب ندرة وجود **قشرة قارات** continental crust ثخينة ومصادر حرارية ضرورية لإحداث أمثال هذه الحجرات الكبيرة جدا من الصهارة، فإن وجود البراكين العملاقة نفسها نادر أيضا. فخلال المليوني سنة الماضية، قذفت هذه البراكين في آن واحد نحو 750 كيلومترا مكعبا على الأقل من الصهارة في أربع مواقع فقط: موقع يلوستون ناشيونال پارك في ولاية وايومنگ وموقع لونگ ڤالي في ولاية كاليفورنيا وموقع طوبا Toba في جزيرة سومطرا وأخيرا موقع تاوپو Taupo في نيوزيلندا. هذا ويستمر البحث عن اندفاعات بركانية كبيرة جدا مماثلة في المناطق الأخرى التي تتمتع بقشرة قارات ثخينة، كما هي الحال في غرب أمريكا الجنوبية وأقصى شرقي روسيا.

وفي الأحداث الماضية خلال سبعينات القرن الماضي، أظهرت التحقيقات الأسلوب الذي يمكن أن تتشكّل به حجرات الصهارة وتصبح خطرة. ففي موقع يلوستون وتحت

(*) THE SECRETS OF SUPERVOLCANOES
(**) Early Awe



حلقة من النار: **تنفجر من منافس بركانية عملاقة بحجم الجبل حول الحافة الخارجية لبركان عملاق ناشط. وسحبٌ حارة وخانقة تحجب الرؤية، وهي مؤلفة من الغاز والرماد البركاني.**

سطح أرضها تتحرك صفيحة أمريكا الشمالية التكتونية فوق **دفق** plume عائم من صخور منصهرة حارة لزجة القوام يصعد من **وشاح الأرض**[1] mantle. وهذا الدفق الحار الذي يدعى **البقعة الحارة** hot spot ويقوم بوظيفة حرّاق **بُنْزِن** Bunsen ضخم أدّى إلى صهر، بمقدار كاف، القشرة الأرضية المتوضّعة فوقه ليحقّز الاندفاعات البركانية الكارثية خلال الـ16 مليون سنة الماضية. أمّا في موقع طوبا بجزيرة سومطرا فيبدو أنّ أسلوب منشأ حجرات الصهارة يكون مختلفا. فهذا المكان يقع فوق **نطاق الانغراز**[2] subduction zone، حيث تنزلق فيه صفيحة تكتونية تحت صفيحة أخرى: إذ يسبِّب تقارب الصفيحتين تأججا حراريا واسع الانتشار خصوصا من خلال الانصهار الجزئي لوشاح الأرض فوق الصفيحة المنغرزة.

وبصرف النظر عن منشأ الحرارة، فإنّ الضغط في حجرات الصهارة يزداد مع الزمن مع تجمّع المزيد من الصهارة فيها وتحت تأثير الوزن الهائل للصخور الموجودة فوقها. ويحدث الاندفاع البركاني الكبير بعد أن ترفع الصهارة المنضغطة القشرة الأرضية المتوضّعة فوقها بمقدار كاف لإحداث شقوق شاقولية تمتد حتى سطح الكرة الأرضية. تندفع الصهارة نحو الأعلى في هذه الشقوق الجديدة الواحد بعد الآخر لتشكل، في آخر الأمر، حلقة من **المنافس** vents البركانية (الاندفاعية). وعندما تلتحم هذه المنافس

(١) طبقة في باطن الأرض ثخانتها 2900 كم تقع بين لب الأرض المنصهر وطبقة القشرة الأرضية الخارجية الرقيقة نسبيا.
(٢) أو الانغراس. (التحرير)

بعضها ببعض لا يبقى للأسطوانة الصخرية الكبيرة المتشكّلة ضمن حلقة المنافس أي دعامة تحملها. وهذا «السقف» ينهار، قطعة واحدة أو كتلا مجزأة، على ما تبقّى من الصهارة في الحجرة، مثلما ينهار سقف منزل فَقَدَ دعائمه. وهذا الانهيار يدفع نحو الأعلى وبشدة مزيدا من الغاز واللابة[1] بحيث ينفجر على محيط حلقة المنافس (*انظر الإطار في الصفحتين 56 و 57*).

أخذ بصمات الاندفاعات البركانية(*)

لايزال الغموض مستمرا. فمن الواضح، كما يدرك الباحثون اليوم، أنّ كل حجرة كبيرة من الصهارة لا تنفجر بالضرورة بصورة كارثية. فمثلا يعدّ موقع يلوستون موطنا لأحداث انفجارية تمثلها ثلاث كلديرات لأحدث البراكين العملاقة في العالم ـ تشكلت على التتالي الواحدة فوق الأخرى قبل 2.1 مليون سنة و1.3 مليون سنة والأخيرة قبل 000 640 سنة. ومع ذلك، في الفترات الفاصلة بين هذه الأحداث الانفجارية، كانت حجرة الصهارة تطلق أحجاما مماثلة من الصهارة ببطء وهدوء. ولا يزال حتى الآن سبب صعود الصهارة أحيانا ببطء نحو سطح الأرض غامضا.

إن البحث في تركيب بلورات صغيرة محتجزة داخل اللابة والرماد البركاني في موقع يلوستون، أشار إلى جواب جزئي، وذلك بتقديم فكرة جديدة عن كيفية تشكّل الصهارة. ولعقود من الزمن، افترض الجيولوجيون أنّ الصهارة تستقر كحوض من الصخور المنصهرة لملايين من السنين في زمن من الأزمان، وفي كل زمن ينسكب جزء منه إلى سطح الأرض تعوّضه مباشرة كمية جديدة من الصخر المنصهر تصعد من الأسفل لتعيد ملء حجرة الصهارة من جديد. فإذا كان هذا التصوّر صحيحا سيتوقّع المرء الكثير الكثير من الاندفاعات البركانية العملاقة والكارثية، بسبب تعذّر حفظ كتل الصهارة الكبيرة في القشرة الأرضية من الناحيتين الميكانيكية والحرارية من دون تفريغها بصورة متكرّرة.

اعتمدت الفكرة القديمة اعتمادا كبيرا على ما يدعى تحليل كامل الصخر الذي يسمح للباحثين بالحصول على مجموعة واحدة من القياسات الكيميائية لكل عينة بحجم قبضة اليد جمعها الباحثون من الصخر البركاني. ووفرت تلك البيانات أنماطا عامة ومهمة لتطور الصهارة، ولكنّها كانت غير كافية لتحديد عمر الصهارة المقذوفة والعمق الذي تشكلت فيه.

إنّ كل كتلة من الصخر الاندفاعي مكوّنة في الواقع من آلاف البلورات الصغيرة وكل بلورة تنفرد بعمرها وتركيبها ومجريات تشكّلها عن غيرها من البلورات. وهكذا عندما أمكن للتقدّم التقاني في أواخر الثمانينات من القرن الماضي من تحليل البلورات الفردية بدقة مقبولة، كان ذلك بمثابة قراءة فصول منفردة من كتاب وليس الاعتماد على قراءة دعاية التعريف به على غلاف هذا الكتاب لشرح موضوعه. بدأ الباحثون بإدراك أنّ بعض البلورات ـ ومن ثم الصهارات التي تشكّلت ضمنها في الأصل ـ نشأت على سبيل المثال بزمن أبكر من غيرها وأنّ بعضها تشكّل في الأعماق تحت سطح الأرض، في حين تشكّل بعضها الآخر بالقرب من هذا السطح.

وخلال عشر السنوات الماضية، اهتم الجيوكيميائيون اهتماما خاصا بنمط مستقر من البلورات البركانية يدعى الزركون Zircone. ومن المعلوم أن بلورات الزركون يمكن أن تتحمّل تغيرات بالغة من حيث الحرارة والضغط من دون أن يتعرّض تركيبها الأصلي إلى التغيير، فقد استخدمها بعض الباحثين ـ ومن بينهم <J. W. قالي> [من جامعة ويسكونسين في ماديسون] لدراسة التطوّر المبكر للقشرة الأرضية [انظر: «*هل كانت الأرض باردة في بداية تكوّنها؟*»، **العلوم**، العدد 12 (2005)، ص 20]. وعندما انضممت إلى فريق <قالي> كزميل فيما بعد الدكتوراه في عام 1998، استخدمنا عينات بلورات الزركون المأخوذة من موقع «يلوستون» لاقتفاء أثر تاريخ صهارتها الأصلية التي تشكّلت فيها والتي كشفت بدورها عن أدلة مهمة على السلوك الذي يمكن أن يسلكه البركان في المستقبل.

كانت الخطوة الأولى في قياس نسب النظائر المختلفة من الأكسجين في بلورات الزركون من أحدث اندفاع بركاني كبير في موقع يلوستون ـ الذي نتج بعد انفجاره، قبل 000 640 سنة، ترسب تشكيلة طف لاڤا كريك[2] ـ وهي عبارة عن رواسب أحفورية من الرماد البركاني المتصلّب تصل ثخانتها في بعض الأمكنة إلى 400م ـ إضافة إلى ترسّب رواسب أحدث كانت قد قذفت خلال اندفاعات أقل شدة منذ ذلك الزمن. وعندما أنهيت تحاليلي الأولية كنت مندهشا مع <قالي> من استنتاج أنّ تركيب الأكسجين في تلك البلورات من الزركون لا يماثله في بلورات زركون وشاح الأرض العميق الحار، كما كان متوقّعا فيما لو أنّ حجرات الصهارة المفرّغة كانت تُملأ دائما من الأسفل. يكون لبلورات الزركون المتشكّلة في الصهارات التي يكون أصلها من الوشاح بصمة متميّزة: إذ عندما تتجمّع العناصر المنصهرة في الصهارات لتشكيل بلورات الزركون، فإنّ هذه البلورات تأخذ نسبة مرتفعة واضحة من

نظرة إجمالية/ اندفاعات بركانية عملاقة(**)

- قلبت تحاليل حديثة لتركيب بلورات صغيرة، موجودة ضمن رواسب الرماد البركاني الناتجة من اندفاعات بركانية ما قبل تاريخية، معتقدات قديمة حول سلوك البراكين العملاقة ـ وكشفت عن مفاجآت جديدة حول الآثار التي تتركها الكوارث.
- إنّ المجريات الداخلية في حجرات الصهارة التي تفجّر البراكين العملاقة يمكن أن تتطوّر بطرائق تؤثّر بقوة في أسلوب الاندفاعات البركانية في المستقبل.
- إن فترة الشتاء البركاني volcanic winter الذي يسيطر على الكرة الأرضية عند ثوران بركان عملاق، أقصر، على الأرجح، ممّا كان يعتقد من قبل، مع أنّه يمكن أن تكون تفاعلاته الكيميائية مع الغلاف الجوي أكثر خطورة.

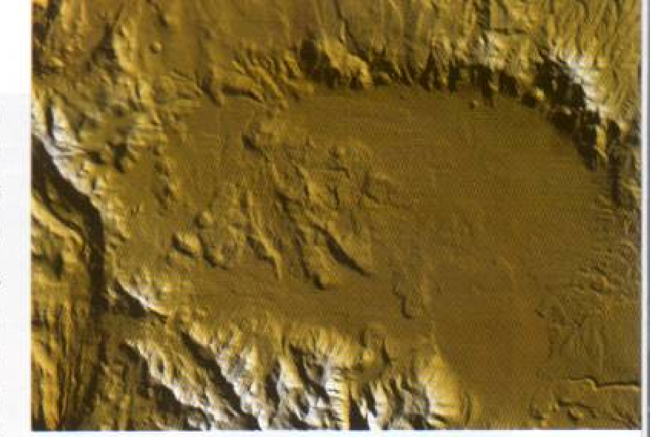
(*) Fingerprinting Eruptions

(**) Overview/ Mighty Eruptions

(1) لابة تعريب lava، ويقال أيضا حمم.

(2) Lava Creek tuff، والـ«طف» رماد بركاني متصلب.

(التحرير)





لم تكن البراكين العملاقة الخامدة في موقع لونگ ڤالي بولاية كاليفورنيا (*الشكل العلوي*) على شكل قمم واضحة مخروطية الشكل مثل ما هي عليه في ماونت سانت هيلينز بولاية واشنطن (*الشكل السفلي*). وإنّما تتميّز، عوضا عن ذلك، بفوهات بركانية عملاقة (كلديرات)، وهي منخفضات في سطح الأرض تشكّلت عندما انهارت الأرض نحو حجرات الصهارة التي غذّت معظم الاندفاعات البركانية الكبيرة الحديثة.

اندفاعات بركانية متميّزة قد حدثت على مر ملايين السنين لإنتاج تشكيلة «طف بيشوب» الواسعة الانتشار. ولكن الدراسات الدقيقة لقطيرات ميكروية من الصهارة المحتجزة ضمن بلورات صغيرة من الكوارتز كشفت عن تفسير مختلف. يعتمد معدل السرعة التي تترك فيها الصهارة حجرتها بصورة رئيسية على عاملين اثنين: لزوجة الصهارة (أي قدرتها على الجريان) وفرق الضغط بين حجرة الصهارة وسطح الأرض. ولأنّ الضغط داخل قطيرة الصهارة يماثل ضغط الحجرة التي تشكلت فيها الصهارة، فإنّ قطيرة الصهارة تُماثل نسخة مصغرة عن حجرة الصهارة نفسها.

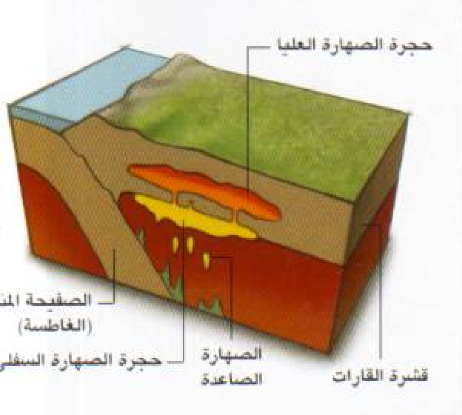
وبإدراك هذا التماثل درس <A. أندرسون> [من جامعة شيكاگو] مع زملائه حجم قطيرات الصهارة تحت المجهر لتقدير المدة التي تستغرقها الصهارة لتنسكب على السطح. يعتقد الجيولوجيون حاليا، اعتمادا على ما ذُكر وعلى تجارب أخرى وملاحظات ميدانية خلال التسعينات من القرن الماضي، أنّ تشكيلة «طف بيشوب» - ومن المحتمل أن معظم الرواسب البركانية الأخرى المنبثقة من الاندفاعات الكبيرة - كانت قد قُذفت في انفجار واحد دام ما بين 10 و100 ساعة.

كان على الباحثين، بعد هذا الاكتشاف، أن يعدّلوا فكرتهم المتعلقة بإعادة تكوين اندفاعات البركان العملاق (السوپر بركان)؛ وهذا ما يتوقعونه بصورة عامة حاليا من حَدَث بحجم الأحداث التي ضربت موقعي «لونگ ڤالي» و«يلوستون»: عوضا عن انسكاب بطيء للابة حارة متوهجة كما ترى وهي تسيل الآن على جوانب البركان Kilauea في جزيرة هاواي، تكشف هذه الاندفاعات عن انفجارات فوق صوتية من مزيج رغوي القوام ذي حرارة عالية جدا مؤلف من الغازات والرماد البركاني يرتفع في الجو إلى طبقة **الستراتوسفير** stratosphere، إلى ارتفاع 50 كم. وبسبب انهيار الأراضي فوق حجرة الصهارة تنفجر سحب رمادية كثيفة مؤلفة من صخور **فتاتية نارية** Pyroclastic، وتتدفّق بصورة أفقية على كامل محيط الكلديرا. وتشكّل هذه التدفقات مظهرا متوسطا بين اللابة والرماد البركاني، ولذلك فإنّها تتحرّك بسرعة كبيرة جدا تصل إلى 400 كم بالساعة، بحيث لا تتمكّن السيارات والطائرات الصغيرة، بحسب بعض المصادر، أن تنجو منها. وإضافة إلى ذلك تكون هذه التدفقات حارة جدا - من 600 إلى 700 درجة مئوية - فهي تؤدّي إلى حرق ودفن كل شيء في طريقها الذي يمتد إلى عشرات الكيلومترات في جميع الاتجاهات.

يمكن أن يكون للرماد البركاني المندفع نحو الغلاف الجوي، الذي يكون مؤذيا مثل الأذى الذي تسبّبه تدفقات الصخور الفتاتية النارية، عواقب أخطر إلى أبعد الحدود. فقد يسقط هذا الرماد البركاني ذو اللون الرمادي الباهت كما يندف الثلج، ربّما لمدة أيام أو أسابيع، على مناطق تبعد مئات الكيلومترات عن مكان الاندفاع البركاني. وضمن مسافة 200 كم من الكلديرا قد يختفي معظم ضوء الشمس، وهكذا قد تبدو السماء عند الظهيرة مثلما تبدو عند هبوط الليل. وقد تدفن، وأحيانا تسحق، المنازل والناس والحيوانات. وحتى على بعد 300 كم، يمكن أن تصل ثخانة طبقة الرماد البركاني المترسب نصف متر؛ وإذا اختلط هذا الرماد مع المطر سيكون وزنه كافيا جدا لانهيار سقوف المنازل. وقد تعطّل كمية أقل من هذا الرماد التيار الكهربائي ومحطات البث الإذاعي. وبثخانة طبقة قدرها مليمتر واحد من الرماد البركاني التي يمكن أن تغطي سطح نصف محيط الكرة الأرضية، قد

دورات فائقة(*)

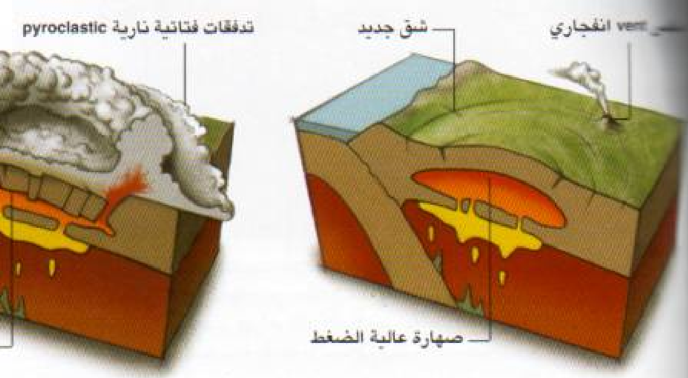
تتشكّل الحجرات العملاقة من **الصهارة** magma ال...
تغذّي البراكين العملاقة فوق **البقع الحارة** spots...
(أعمدة في أعماق الأرض تصعد عبرها الصـ...



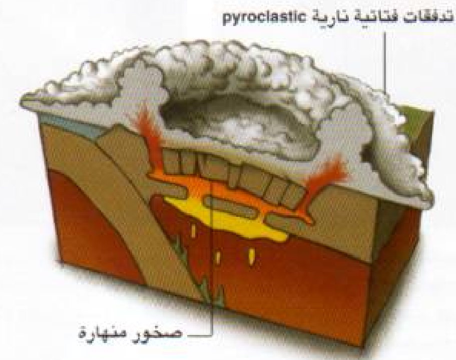
1 ينتج من الانصهار الجزئي لصخور وشاح الأرض الوا... فوق الصفيحة المنغرزة من قشرة المحيطات، **الصهارة (الماگما)** التي تتقدّم صاعدة نحو الأعلى باتجاه قاعدة قشرة القارات وتتجمّع هناك. تقوم حجرة الصهارة السفلى بعمل حرّاق بُرْن ضخم يصهر في آخر الأمر أجزاء من قشرة القار... التي يكون لصخورها نقطة انصهار أخفض من الصخور الموجودة تحتها. تصعد بعض الصهارة أيضا عن طريق أقنية شاقولية بين الحجرتين.

(*) SUPERCYCLES

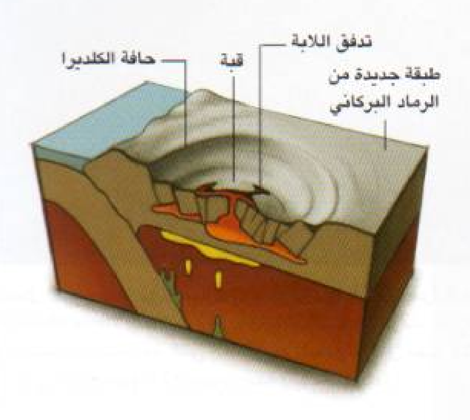
...رة) أو فوق **نطق الانغراز** subduction zones (وهي النطق حيث تنغرز ...ة تكتونية تحت صفيحة أخرى). ففي كلتا الحالتين، تتجه البراكين ...ة إلى اتباع دورة اندفاعية التي هي أفضل فهما حاليا ممّا كانت عليه من قبل. وفيما يلي أشكال للخطوات الأساسية الأربع، بدءا من التشكيل الأولي لحجرة الصهارة، يتمثّل في كل منها نطاق الانغراز.



2 بقدر ما يزداد حجم حجرة الصهارة العليا بقدر ما تنتفخ الأرض التي فوقها وتتشقّق. إنّ تركيب هذه ...صهارة الغني بالسيليكا ودرجة حرارتها المنخفضة، ...سبة إلى تركيب وحرارة وشاح الأرض، يجعلها تقاوم ...جريان بصورة خاصة، وهكذا يصبح مرور الماء ...غازات عبرها صعبا. ونتيجة لذلك، عندما تشق سدادة ...الصهارة اللزجة طريقها فجأة إلى السطح على طول ...ق شاقولي، تميل المواد التي تحتها بضغطها المرتفع ...الانفجار بعنف أكثر من أن تتدفّق ببطء.



3 يتحطم، في آخر الأمر، سطح الأرض المُجهد عندما تشكّل منافس انفجارية جديدة حلقة قطرها بقطر حجرة الصهارة. تنهار القطع المتشقّقة من الصخور نحو حجرة الصهارة مجبرة كميات إضافية من الصهارة على الصعود إلى الحافات الخارجية للحلقة. إنّ انطلاق هذه الصهارة المفاجئ يحولّها إلى سحب حارقة واسعة الانتشار من الصخور والرماد البركاني والغاز تعرف **بالتدفق الفتاتي الناري** pyroclastic flow الذي يخرّب مساحة تمتد لعشرات الكيلومترات في جميع الاتجاهات.



4 بعد اندفاع البركان، يستقر فوق حجرة الصهارة - المفرّغة جزئيا من محتواها - منخفض يشبه فوهة البركان يعرف **بالكلديرا** caldera أو فوهة البركان الضخمة. إن الأراضي المنهارة في داخل حجرة الصهارة تبدأ مع مرور الزمن بالانصهار، وبذلك تتشكّل كتلة أصغر من الصهارة، التي تشكّل مع قوى أخرى قبة في مركز الكلديرا. يمكن أن تتسرّب من هذه المنطقة لابة (حمم بركانية) بطيئة الحركة مرات متعددة قبل أن تتجمّع الصهارة بصورة كافية لتحفيز اندفاع ضخم جديد.

تؤدّي إلى إغلاق المطارات وإنقاص الإنتاج الزراعي على نحو خطر.

وتدريجيا فقط يمكن أن تغسل الأمطار (التي أصبحت حامضية بالغازات البركانية) الغطاء الثخين من الرماد البركاني وتجرفه. وبسبب عوم الصخور البركانية والرماد البركاني قد تُسدُّ الممرات المائية الرئيسية. ويمكن أن ينتهي النقل النهري عبر الممرات المائية إلى التوقّف. وبالفعل فقد اخترق حفر بئر نفطية في خليج المكسيك طبقة ثخينة بصورة غير متوقعة من حطام صخري بالقرب من دلتا نهر المسيسيبي نتج من اندفاعات لبراكين عملاقة - وهي تمتد على مسافة تزيد على 1000 ميل في موقع يلوستون. فقد أمكن تراكم هذه الكمية من الحطام الصخري البركاني الناجمة عن بركان بعيد جدا بعد عومها وانتقالها نحو مصب النهر، ومن ثم التصاقها بالرواسب التي في قاع المحيط.

لقد كان لدى الباحثين أسبابهم للاعتقاد أنّ عواقب أخرى قد تنشأ عن انطلاق أحجام كبيرة من غاز، بقي تركيبه غير معروف تماما، نحو الغلاف الجوي الأعلى للأرض، وإمكانية استمرار انطلاقه لسنوات متعدّدة. وتشير الأبحاث الجديدة إلى أنّ بعض هذه النتائج قد لا تكون مؤذية مثل ما كان يُخشى من قبل، ولكن يمكن لبعضها الآخر أن يكون أكثر أذى. وهذا ما توضّح مرة ثانية حالما تمت دراسة تركيب النواتج الثانوية الصغيرة من الاندفاعات البركانية الماضية.

من الغازات المتنوعة التي تؤلف أي اندفاع بركاني، يسبّب ثنائي أكسيد الكبريت (SO_2) التأثير الأقوى في البيئة؛ فهو يتفاعل مع الأكسجين والماء لإنتاج قطيرات دقيقة من حمض الكبريت (H_2SO_4). وتشكّل هذه القطيرات المصدر الرئيسي الذي يحجب الشمس ويؤدّي إلى التبرّد المناخي المفاجئ الذي قد يسيطر على الكرة الأرضية بعد الاندفاعات البركانية الكبيرة. ومن المعروف أنّ الدورة المائية (الهدرولوجية) على الكرة الأرضية تأخذ أشهر أو سنين لتغسل وتزيل القطيرات الحامضية بصورة كاملة. والكثير من الباحثين يقدّر تقديرات غامضة أنّ **فصول شتاء بركانية** volcanic wintres **قد تدوم** عشرات السنوات إذا لم تدم مئات السنين. ولكن في السنوات الأخيرة كشف باحثون آخرون عن دليل يخفّض كثيرا هذه المدة.

يُحتجز معظم آثار حمض الكبريت تقريبا الناتج بعد الاندفاعات البركانية الكبيرة في الثلج والجليد كلّما انفصل هذا الحمض عن الغلاف الجوي الملوّث. فقد وجد الباحثون في عام 1996، الذين يدرسون لبابات الجليد المأخوذة من گرينلند وقارة القطب الجنوبي (قارة الأنتاركتيكا)، أنّ كمية حمض الكبريت القصوى حصلت بعد الاندفاع البركاني الكبير في موقع «طوبا» قبل 000 74 سنة. فقد قذف هذا الاندفاع 2800 كم^3 من اللابة والرماد البركاني وأدّى إلى خفض متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية بين 5 و 15



تشكّل الرواسب البركانية الواسعة الانتشار منحدرا شديد الانحدار في الجبل Yucca Mountain بنيڤادا. وهي بقايا تدفقات من الرماد البركاني الحارق الناتج من الاندفاعات العملاقة التي انطلقت في الجوار قبل نحو 12.8 مليون سنة (*الطبقة السفلى*) وقبل نحو 12.7 مليون سنة (*الطبقة العليا*).



يتشكّل الجدار الصلب في غرب نبراسكا المؤلّف من صخر رمادي اللون من تراكم رماد بركاني خانق تخلّف عن اندفاع كبير من موقع غير معروف قبل نحو 28 مليون سنة. تدل عناصر في الرماد البركاني على أنّ مثل هذه الاندفاعات الكبيرة يمكن أن تغيّر كيميائية طبقة الستراتوسفير[1] stratosphere.

درجة مئوية. ومن دون شك، كانت نتائج هذه البرودة خطرة، غير أنّها لم تدم مدة طويلة كما كان يُعتقد من قبل: لقد اختفى حمض الكبريت من لبابات الجليد بعد ست سنوات؛ أو بعد مدة أقل من ذلك بحسب بعض الباحثين الآخرين.

إنّ احتمال كون مدة «فصول الشتاء البركانية» أقصر ممّا كان يعتقد هي أخبار سارّة. ولكن طريقة جديدة جرى تطويرها خلال السنوات الخمس الأخيرة لدراسة تركيب ذرات الأكسجين في الأمطار الحمضية البركانية كشفت عن وجود إشارة منذرة بالخطر مختلفة تماما حول التأثيرات المديدة لثنائي أكسيد الكبريت في الغلاف الجوي. ولكي يتحول الغاز SO_2 إلى الحمض H_2SO_4 لا بد أن يتأكسد ـ وبتعبير آخر ينبغي أن يكتسب ذرتين من الأكسجين من مركّبات أخرى موجودة بالفعل في الغلاف الجوي. فالمركبات التي تؤدي بالفعل الدور الأساسي هي موضوع لا يزال قيد المناقشة الحامية في الأبحاث الحالية. وهكذا عندما بدأت العمل مع <M. J. إيلر> [في هيئة الباحثين بمعهد كاليفورنيا للتقانة] في عام 2003، بحثنا عن دليل في العينات التي أخذتها من طبقات الرماد البركاني الناتجة من الاندفاعات البركانية القديمة في موقعي «يلوستون» و «لونگ ڤالي».

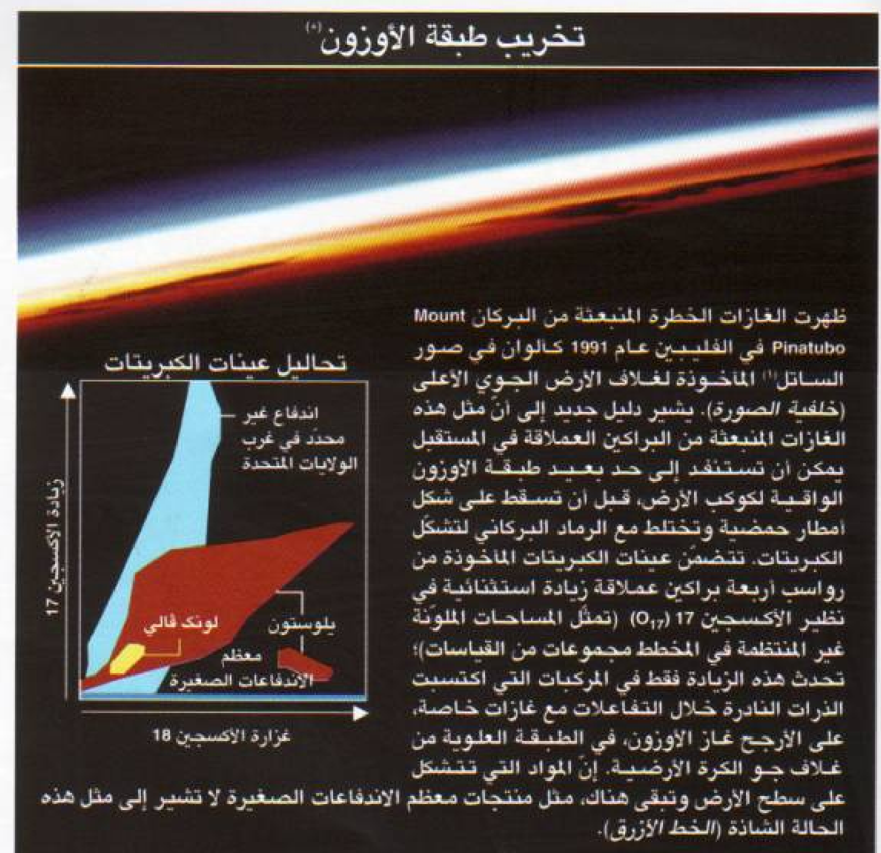
بدأنا بتحليل عيناتنا بالتركيز بصورة خاصة على مؤكسد فعّال هو الأوزون: غاز مؤلّف من ثلاث ذرات من الأكسجين أكثر ما يُعرف عنه أنّه يقي الكرة الأرضية من أشعة الشمس فوق البنفسجية الخطرة. وبسبب التحوّلات الكيميائية النادرة التي تتعرّض لها بعض الغازات بوجود ذلك الإشعاع الشمسي الشديد، يتميّز غاز الأوزون بشذوذ فيما يسمّى بصمة أكسجين نظيره 17 (O_{17}) المستقلة عن كتلته، التي، بمعنى آخر، يمكن أن تعتبر زيادة من الأكسجين 17.

عندما يتفاعل الأوزون أو أي جزيء آخر غني بالأكسجين في طبقة الستراتوسفير من الغلاف الجوي، مع الغاز SO_2، ينقل بصمة نظير أكسجينه 17 إلى الحمض الناتج ـ وهذا يعني أنّ شذوذ الأكسجين 17 يستمر في الحمض الجديد. لقد وجد الجيوكيميائيون في عام 2003 الذين يعملون في جامعة كاليفورنيا بسان دييگو، الدليل المذكور آنفا، ما يدلّ على

تنكشف حاليا هياكل الحيوانات التي كانت مدفونة في التشكيلة Ashfall Fossil Beds (طبقات أحافير الرماد البركاني)، المتشكّلة نتيجة اندفاع كارثي في ولاية إيداهو قبل 12 مليون سنة، في المتنزّه State Historical park بولاية نبراسكا. ومن المحتمل أن تكون معظم الحيوانات قد ماتت ببطء عندما ملأ الرماد البركاني (الذي يتألّف بصورة أساسية من دقيق زجاجي) رئاتها وسحج أسنانها؛ ويمكن أن تكون المواد الكيميائية في الرماد البركاني قد سمّمت أيضا مياه شربها.

(1) طبقة في غلاف الأرض الجوي تمتد من 11 كم حتى 50 كم فوق سطح الأرض. (التحرير)

تخريب طبقة الأوزون(*)



ظهرت الغازات الخطرة المنبعثة من البركان Mount Pinatubo في الفليبين عام 1991 كألوان في صور الساتل[1] المأخوذة لغلاف الأرض الجوي الأعلى (*خلفية الصورة*). يشير دليل جديد إلى أنّ مثل هذه الغازات المنبعثة من البراكين العملاقة في المستقبل يمكن أن تستنفد إلى حد بعيد طبقة الأوزون الواقية لكوكب الأرض، قبل أن تسقط على شكل أمطار حمضية وتختلط مع الرماد البركاني لتشكّل الكبريتات. تتضمّن عينات الكبريتات المأخوذة من رواسب أربعة براكين عملاقة زيادة استثنائية في نظير الأكسجين 17 (O_{17}) (تمثّل المساحات الملوّنة غير المنتظمة في المخطط مجموعات من القياسات)؛ تحدث هذه الزيادة فقط في المركبات التي اكتسبت الذرات النادرة خلال التفاعلات مع غازات خاصة، على الأرجح غاز الأوزون، في الطبقة العلوية من غلاف جو الكرة الأرضية. إنّ المواد التي تتشكل على سطح الأرض وتبقى هناك، مثل منتجات معظم الاندفاعات الصغيرة لا تشير إلى مثل هذه الحالة الشاذة (*الخط الأزرق*).

أنّ هذه البصمة تكون محفوظة أيضا في ذرات أكسجين الحمض الذي يسقط فيما بعد كأمطار وفي مركبات الكبريتات التي تتشكّل عندما تتفاعل الأمطار الحمضية مع الرماد البركاني على الأرض.

وتدل زيادة الأكسجين 17 والمركبات الكيميائية الأخرى التي وجدناها في كبريتات عينات الرماد البركاني المأخوذة من موقعي «يلوستون» و «لونگ ڤالي» على أنّ كميات كبيرة من أوزون طبقة الاستراتوسفير استخدمت في التفاعلات مع غازات الاندفاعات البركانية الكبيرة التي انطلقت من الموقعين المذكورين. وبيّن باحثون آخرون يدرسون طبقات الحمض في لبابات الجليد من مناطق قارة القطب الجنوبي أنّ تلك الأحداث أدّت أيضا على الأرجح إلى تآكل أوزون الاستراتوسفير، وهذا يجعلنا نفكر كما لو أنّ انبعاثات البراكين العملاقة تستغرق مدة أطول لتآكل ثقوب طبقة الأوزون ممّا تستغرق لتبريد المناخ.

قد يكون هذا النقص في طبقة الأوزون الواقية متوقعا ليفضي إلى كمية متزايدة من الإشعاع فوق البنفسجي الخطر الذي يصل إلى سطح الكرة الأرضية، ومن ثم إلى زيادة الضرر **الجيني** genetic الذي تسببه هذه الأشعة، ومع ذلك فإنّ حجم ومدة تدمير طبقة الأوزون المحتمل مازالا خاضعين للنقاش؛ ومع ذلك فقد كشفت الملاحظات الفضائية أنّ استنفادا في طبقة الأوزون يراوح ما بين 3 و 8 في المئة، حصل بعد اندفاع بركان ماونت بيناتوبو عام 1991 في الفليبين. ولكن ماذا قد يحصل بعد حدث أضخم بمئة مرة؟ إنّ مجرد حساب بسيط لن يؤدّي إلى حلّ هذه المشكلة، بسبب تعقيد تفصيلات تفاعلات الأكسدة في الغلاف الجوي وعدم فهمها تماما.

ويُجرى حاليا تطوير تقنيات علمية لدراسة ومراقبة البراكين من جميع الحجوم بسرعة متأنية. وبصرف النظر عن مقدار ما نتعلّمه، لا يمكننا أن نمنع حدوث أي اندفاع بركاني. وما يمكن أن يقال حول آثار معظم الأحداث الكارثية يبقى غير نهائي في أحسن الأحوال؛ ومع ذلك فإن الأخبار السارة هي أن الباحثين يعرفون حاليا بصورة كافية مواقع الاندفاعات البركانية المحتملة كي يتنبؤوا بتأكيدات معقولة أنّه لن تحصل مثل هذه الكوارث في القريب العاجل. ■

(*) OZONE DESTRUCTION

(1) أو القمر الصنعي.

المؤلف

Ilya N. Bindeman

جيوكيميائي ومساعد أستاذ في قسم العلوم الجيولوجية بجامعة أوريگون. ولد في موسكو واهتمّ في البداية بعلم البراكين عندما درس البراكين البعيدة في كامشاتكا في أقصى شرق روسيا. وبعد أن حصل على الدكتوراه من جامعة شيكاگو في عام 1998 بدأ بصورة عملية بفحص البلورات الميكروية الموجودة في الرماد البركاني بغية إيجاد أدلة تدل على منشأ الاندفاعات البركانية الكبيرة في العالم وتأثيراتها. عمل في جامعة ويسكونسين–ماديسون وفي معهد كاليفورنيا للتقانة قبل أن ينضم إلى كلية أوريكون في الشهر 12 من عام 2004 ويقيم مختبره الخاص في الجيوكيمياء.

مراجع للاستزادة

Low-$\delta^{18}O$ Rhyolites from Yellowstone: Magmatic Evolution Based on Analyses of Zircons and Individual Phenocrysts. Ilya N. Bindeman and John W. Valley in *Journal of Petrology*, Vol. 42, pages 1491–1517; 2001.

Sulfate Oxygen-17 Anomaly in an Oligocene Ash Bed in Mid-North America: Was It the Dry Fogs? Bao Huiming, Mark H. Thiemens, David B. Loope and Xun-Lai Yuan in *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, pages 1843–1848; 2003.

Rare Sulfur and Triple-Oxygen Isotope Geochemistry of Volcanogenic Sulfate Aerosols. Ilya N. Bindeman, John M. Eiler, Boswell Wing and James Farquhar in *Earth and Planetary Science Letters* (in preparation, 2006).

Scientific American, June 2006



البحث من أجل صنع عدسة فائقة[*]

سوف يكون بإمكان عدسة فائقة مصنوعة من «مواد مرَفَّعة»[1] ذات خواص مثيرة للجدل أن تشكل أخيلة تتضمن تفصيلات أدق من الطول الموجي للضوء المستخدم.

<J. B. پندري> ـ <D. R. سميث>

قبل نحو 40 عاما كانت لدى العالم الروسي <V. فيسيلاكو> فكرة حول مادة ربما استطاعت قلب عالم البصريات رأسا على عقب. فهي قد تستطيع جعل موجات الضوء تبدو أنها تجري *إلى الخلف* وأنها تسلك سلوكا آخر بطرق عديدة معاكسة للحدس. وسوف يكون لنوع جديد كليا من العدسات مصنوع من هذه المادة صفات شبه سحرية تجعلها تتفوق على أية عدسات معروفة سابقا. والفكرة هنا هي أنه ينبغي أن يكون للمادة **قرينة انكسار** index of refraction سالبة (يصف «الانكسار» مقدار تغير اتجاه الموجة لدى دخولها أو خروجها من المادة). إن لجميع المواد المعروفة قرينة انكسار موجبة. وقد فشل <فيسيلاكو>، بعد سنين من البحث، في إيجاد أي شيء له الخواص الكهرمغنطيسية التي كان ينشدها، وتلاشى بذلك حدسه غارقا في الظلمة.

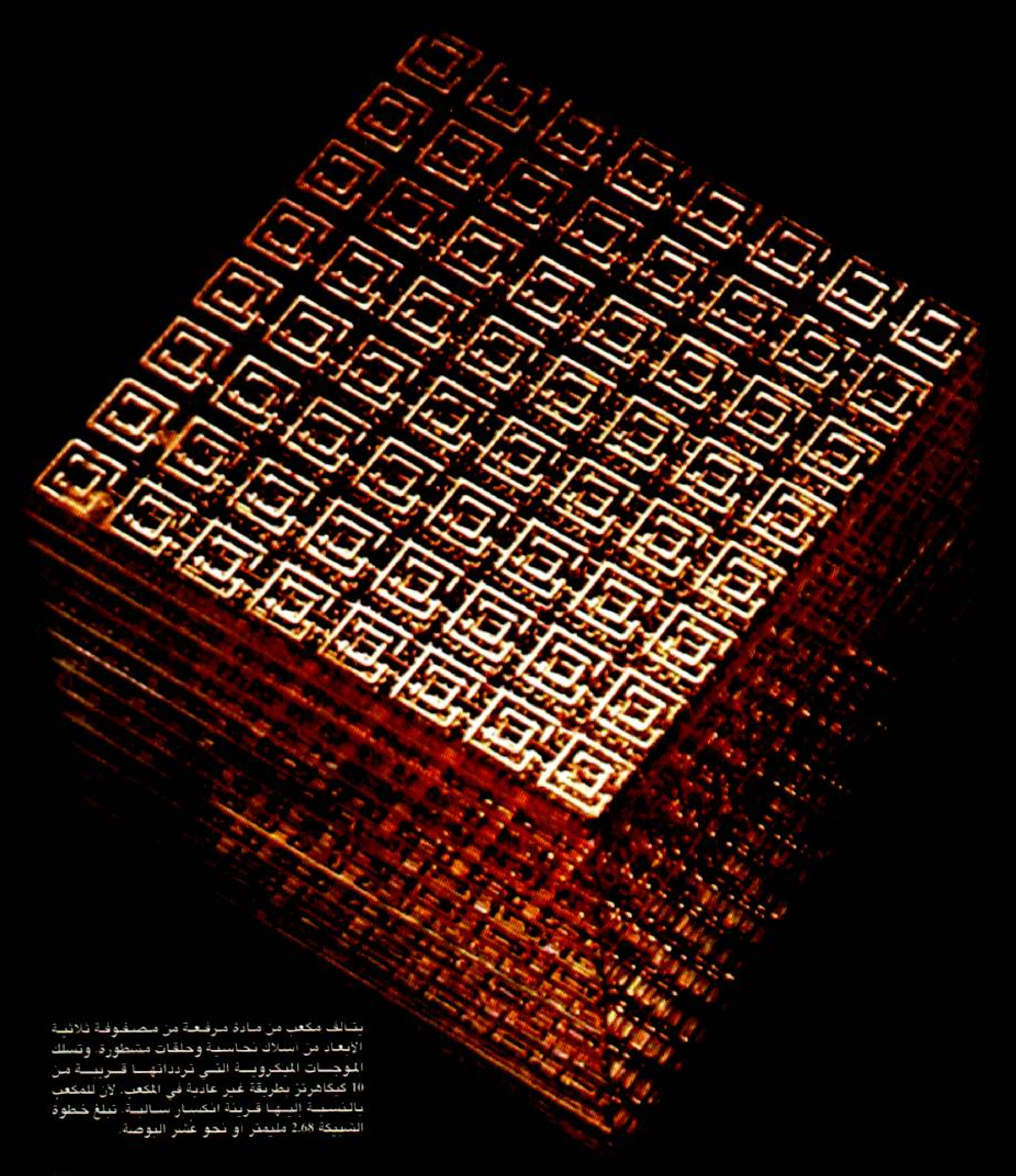
وقد أحيا مؤخرا تقدم هائل مفهومَ <فيسيلاكو>. فالخواص الكهرمغنطيسية لمعظم المواد تنشأ مباشرة عن مميزات الذرات والجزيئات التي تكوِّن هذه المواد. ولما كان لهذه المكوِّنات مجال محدود من المميزات فإن ملايين المواد التي نعرفها لا تبدي إلا مدى محدودا فقط من الخواص الكهرمغنطيسية. ولكن في منتصف التسعينات أدرك أحدنا (بندري)، بالتعاون مع علماء الشركة ماركوني لتقانة المواد Marconi Materials Technology في إنكلترا، أنه ليس من الضروري أن تكون «مادة» ما **شريحة** slab من مكوِّن واحد، وإنما يمكن أن تكتسب خواصها الكهرمغنطيسية من بنى دقيقة تكوِّن مجتمعة تأثيرات تكون مستحيلة لولا ذلك.

بدأ فريق الشركة ماركوني يصنع ما يسمى **المواد المرفَّعة** metamaterials وبيَّن أن عددا منها يبعثر الموجات الكهرمغنطيسية بصورة مخالفة لأي مواد معروفة. وفي عام 2000 وجد واحد منا (سميث) مع زملائه [من جامعة كاليفورنيا في سان دييكو] تركيبة من المواد المرفَّعة توافر خاصة الانكسار السالب المراوغة.

يسلك الضوء في المواد ذات قرينة الانكسار السالبة سلوكا شديد الغرابة، لدرجة أنه كان لزاما على النظريين أن يغيروا تماما العديد من مفاهيم الكهرمغنطيسية. وقد تضمنت هذه العملية بعض المناظرات الحارة التي تطرح السؤال حول وجود مثل هذه المواد أصلا. وفي الوقت نفسه يعمل التجريبيون على تطوير تقانات تستخدم الخواص الغريبة للمواد المرفعة: عدسة فائقة، على سبيل المثال، تتيح تصوير تفصيلات أدق من طول موجة الضوء المستخدم، وهذه يمكن أن تمكِّن **الطباعة الحجرية الضوئية** optical lithography للدارات الإلكترونية الميكروية من الوصول إلى المقياس النانوي ومن تخزين مقدار أكبر كثيرا من البيانات على الأقراص الضوئية. ويبقى هناك الكثير مما ينبغي عمله لتحويل هذه التصورات إلى حقيقة، أما الآن وقد تحقق حلم <فيسيلاكو> بصورة نهائية فإن التقدم أصبح سريعا.

(*) THE QUEST FOR THE SUPERLENS

(1) metamaterials، أو مواد فوقية



يتألف مكعب من مادة مرفعة من مصفوفة ثلاثية الأبعاد من أسلاك نحاسية وحلقات مشطورة. وتسلك الموجات الميكروية التي تردداتها قريبة من 10 كيكاهرتز بطريقة غير عادية في المكعب، لأن للمكعب بالنسبة إليها قرينة انكسار سالبة. تبلغ خطوة الشبيكة 2.68 مليمتر أو نحو عُشر البوصة.

الانكسار السالب[*]

لا بد لكي يفهم المرء كيف يمكن أن ينشأ الانكسار السالب من أن يعرف كيف تؤثر المواد في الموجات الكهرمغنطيسية. حين تسير موجة كهرمغنطيسية (مثل شعاع من الضوء) عبر مادة ما، تتأثر الإلكترونات الموجودة ضمن ذرات أو جزيئات هذه المادة بقوة فتتحرك تبعا لذلك. وتستهلك هذه الحركة بعضا من طاقة الموجة، وهذا يؤثر في خواص الموجة وفي طريقة انتشارها. ويستطيع العلماء، بواسطة تعديل تركيب المادة الكيميائي، ضبط مميزات انتشارها من أجل تطبيق معين ضبطا دقيقا.

ولكن كما تبين المواد المرفّعة، ليست الكيمياء الطريق الوحيد لتطوير مواد ذات استجابة كهرمغنطيسية مشوّقة؛ إذ يمكن كذلك تصميم استجابة كهرمغنطيسية بواسطة تكوين بنى دقيقة إنما ماكروية (جهرية). وينشأ هذا الإمكان لأن الطول الموجي لموجة كهرمغنطيسية عادية - وهي المسافة المميزة التي تتغير فيها الموجة - يفوق بعدة مراتب كِبَر الذرات أو الجزيئات التي تتشكل منها المادة. فالموجة لا «ترى» جزيئا مفردا وإنما ترى الاستجابة الجماعية لملايين الجزيئات. وفي مادة مرفعة تكون عناصرها المكوِّنة أصغر كثيرا من الطول الموجي ولذلك لا ترى الموجة الكهرمغنطيسية هذه العناصر مفردا.

تحوي الموجات الكهرمغنطيسية، كما تدل تسميتها، على كلا الحقلين: الكهربائي والمغنطيسي. وكل حقل يحرِّض حركة مميزة للإلكترونات في المادة - ذهابا وإيابا استجابة للحقل الكهربائي، وبصورة دائرية استجابة للحقل المغنطيسي. وهناك **وسيطان** parameters يحددان مدى هاتين الاستجابتين في مادة ما: **السماحية الكهربائية** (ε) electrical permittivity أو مقدار استجابة الإلكترونات للحقل الكهربائي، و**النفوذية المغنطيسية** (μ) magnetic permeability، أي درجة استجابة الإلكترونات للحقل المغنطيسي. ولأغلب المواد وسيطان ε و μ موجبان.

والمؤشر المهم الآخر للاستجابة الضوئية للمادة هو قرينة انكسارها (n). وترتبط قرينة الانكسار ببساطة بكل من الوسيطين ε و μ: $n = \pm\sqrt{\varepsilon\mu}$. وينبغي اختيار القيمة الموجبة للجذر التربيعي من أجل جميع المواد المعروفة؛ ولذلك فقرينة الانكسار موجبة. ولكن ‹فيسيلاكو› بيّن في عام 1968 أنه إذا كانت قيمة كل من الوسيطين ε و μ سالبة وجب أن تأخذ قرينة الانكسار n الإشارة السالبة نفسها. ولذلك فإن مادة ذات وسيطين ε و μ سالبي القيمة هي مادة ذات قرينة انكسار سالبة.

وتقتضي القيمة السالبة لأي من الوسيطين ε أو μ أن تتحرك الإلكترونات الموجودة في المادة بعكس اتجاه القوة المطبقة عليها من قبل الحقلين الكهربائي والمغنطيسي. ومع أن هذا السلوك يمكن أن يبدو مفارقة، فمن البساطة بمكان أن تُجعل الإلكترونات تعاكس «دفعة» الحقلين الكهربائي والمغنطيسي المطبقين عليها.

تخيل أرجوحة: طبِّق دفعا بطيئا ثابتا، فتتحرك الأرجوحة طواعية باتجاه الدفع - مع أنها لا تتأرجح عاليا جدا. ولكن بمجرد أن تبدأ الحركة، تنزع الأرجوحة للتأرجح ذهابا وإيابا بمعدل معين يُعرف تقنيا **بالتردد التجاوبي** resonant frequency الخاص بها. قم بدفع الأرجوحة بصورة دورية متزامنة مع هذا التأرجح فتبدأ ترتفع للأعلى أكثر فأكثر. والآن حاول أن تدفع الأرجوحة بمعدل أسرع فيصبح هذا الدفع غير متفق في الطور مع حركة الأرجوحة - وعند نقطة معينة قد تكون ذراعاك ممدودتين فيما الأرجوحة مندفعة باتجاهك. وإذا كنت تابعت الدفع لفترة، ربما أصبح للأرجوحة اندفاع كاف لدفعك ورميك - فهي عندئذ تدفعك إلى الخلف. وبالطريقة نفسها تخرج الإلكترونات في مادة ذات قرينة انكسار سالبة عن التوافق في الطور وتقاوم «دفعة» الحقل الكهرمغنطيسي.

المواد المرَفَّعة[***]

التجاوب resonance، أي النزعة للاهتزاز بتردد معين، هو المفتاح للوصول إلى هذا النوع من الاستجابة السالبة وهو يُدخَل صنعيا في مادة مرفعة بواسطة بناء دارات صغيرة مصممة لتقلد الاستجابة المغنطيسية أو الكهربائية لمادة ما. ففي **مجاوب ذي حلقات مشطورة** split-ring resonator (SSR) على سبيل المثال يحرِّض التدفق المغنطيسي الذي يخترق الحلقات المعدنية تيارات تدور في الحلقات، مشابهة للمغنطيسية في المواد [*انظر الإطار في الصفحة 64*]. وبالمقابل يحرض الحقل الكهربائي في شبكة أسلاك معدنية مستقيمة تيارات تجري ذهابا وإيابا.

إذا تُركت الإلكترونات في هذه الدارات وشأنها تأرجحت بصورة طبيعية إلى الأمام والخلف وفق التردد التجاوبي الذي تحدده بنية الدارة وأبعادها. طبِّق حقلا تردده تحت هذا التردد فتنتج استجابة موجبة عادية. أما فوق تردد التجاوب مباشرة فتكون الاستجابة سالبة - تماما كما دَفَعتْ الأرجوحة إلى الخلف عندما صارت تُدفع بأسرع من ترددها. فيمكن للأسلاك إذًا توفير استجابة كهربائية سالبة مع وسيط ε سالب فوق مجال معين من الترددات، في حين تستطيع الحلقات المشطورة توفير استجابة مغنطيسية مع وسيط μ سالب فوق النطاق الترددي ذاته. ليست هذه الأسلاك والحلقات المشطورة سوى عناصر بناء لازمة لصنع تشكيلة واسعة من مواد مرفّعة مشوّقة، بما في ذلك مادة ‹فيسيلاكو› التي طال البحث عنها.

أتى الدليل التجريبي الأول على إمكان الحصول على مادة ذات قرينة انكسار سالبة من التجارب التي قامت بها مجموعة جامعة كاليفورنيا في عام 2000. وقد استخدمت

نظرة إجمالية/ المواد المرفّعة[**]

- يمكن أن تكون لمواد مصنوعة من بنى مجهرية مصممة بعناية خواص كهرمغنطيسية لا تشبه أيا من المواد الموجودة في الطبيعة. وبصورة خاصة يمكن أن يكون لهذه المواد المرفّعة قرينة انكسار سالبة، وهذا يعني أنها تكسر الضوء بطريقة جديدة كليا.
- يمكن لشريحة من مادة ذات قرينة انكسار سالبة أن تعمل مثل عدسة فائقة قادرة على منافسة العدسات الحالية ذات القرينة الموجبة. وسيكون بإمكان مثل هذه العدسة الفائقة تشكيل أخيلة تحتوي على تفاصيل أدق مما يسمح به حد الانعراج الذي يحد من أداء كافة العناصر البصرية ذات القرينة الموجبة.
- مع أن أغلب التجارب على المواد المرفّعة تُجرى بالموجات الميكروية، فمن الممكن أن تستخدم في المستقبل الأطوال الموجية الأقصر، تحت الحمراء والمرئية.

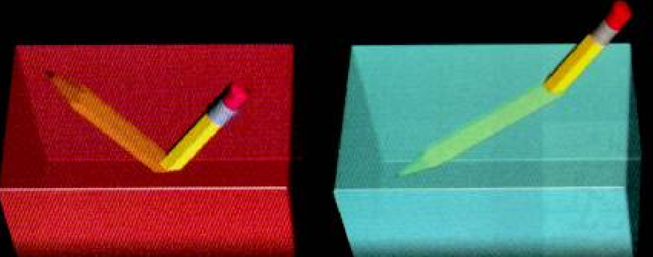
(*) Negative Refraction
(**) Overview/ Metamaterials
(***) Metamaterials

غرابة القرينة السالبة(*)

يسلك الضوء (وجميع الإشعاعات الكهرمغنطيسية الأخرى) في وسط ذي قرينة انكسار سالبة سلوكا مختلفا عنه في المواد العادية التي قرينة انكسارها موجبة في عدد من الطرق المخالفة للحدس:

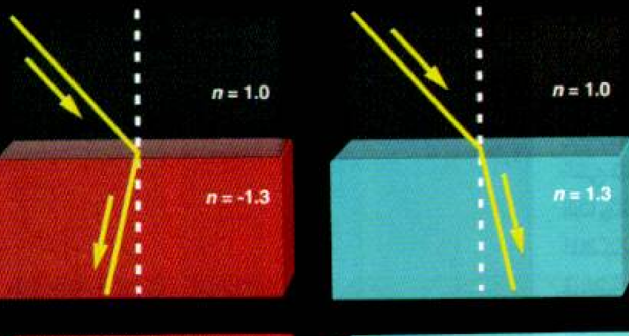
وسط ذو قرينة انكسار موجبة

وسط ذو قرينة انكسار سالبة



يظهر قلم الرصاص في الماء منثنيا لأن قرينة انكسار الماء أكبر.

يظهر قلم رصاص مغمور في وسط ذي قرينة انكسار سالبة منثنيا كما لو أنه يخرج من الوسط.



عندما يسير الضوء من وسط ذي قرينة انكسار (n) منخفضة إلى وسط ذي قرينة انكسار أعلى فإنه ينثني نحو الناظم (*الخط المنقط العمودي على السطح*).

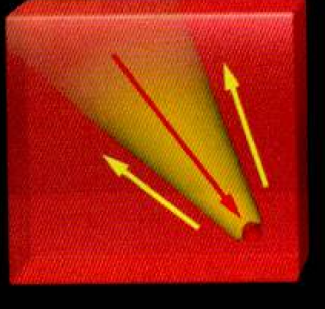
عندما يسير الضوء من وسط ذي قرينة موجبة إلى وسط ذي قرينة سالبة فإنه ينثني إلى الخلف إلى جهة الناظم نفسها.





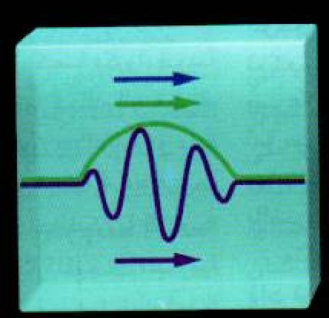
يظهر الجسم المتقهقر(1) أكثر حمرة بسبب مفعول دوبلر.

يظهر الجسم المتقهقر أكثر زرقة.



يولد جسم مشحون (الأحمر) يسير بسرعة أكبر من سرعة الضوء مخروطا من إشعاع تشيرنيكوف (الأصفر) باتجاه حركته إلى الأمام.

يكون اتجاه المخروط إلى الخلف.

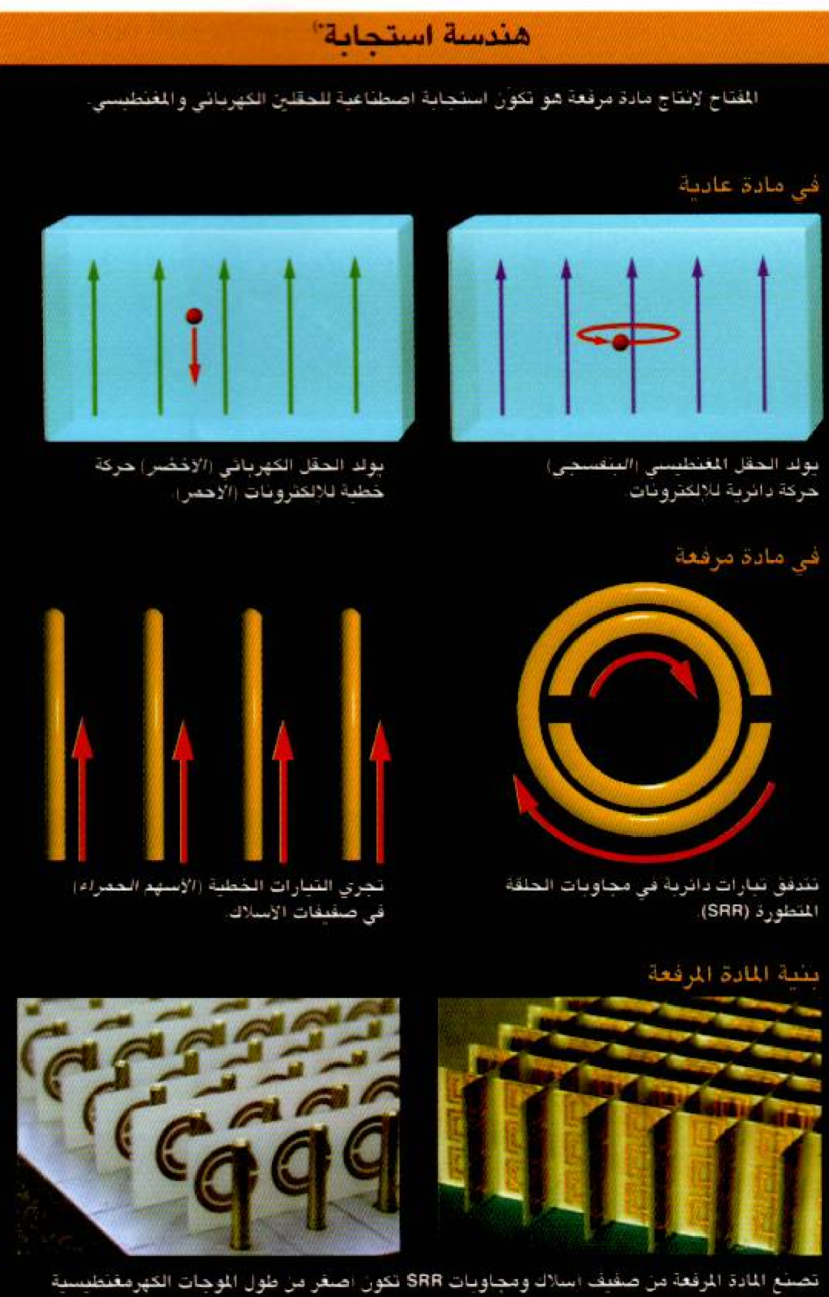


تسير التموجات المفردة لنبضة كهرمغنطيسية (*البنفسجي*) في وسط ذي قرينة سالبة بالاتجاه نفسه مثل شكل النبضة الإجمالي (الأخضر) والطاقة (الأزرق).

تسير التموجات المفردة بعكس اتجاه شكل النبضة والطاقة.

(*) NEGATIVE-INDEX WEIRDNESS

(1) receding object



المجموعة الموجات الميكروية، لأن أكثر المتطلبات صرامة بالنسبة إلى مادة مرفعة هو أن تكون العناصر أصغر بصورة محسوسة من الطول الموجي. ولما كان طول الموجات الميكروية يبلغ عدة سنتمترات، فمن الممكن أن تكون أبعاد عناصر المادة المرفعة عدة مليمترات ـ وهذا مقياس مناسب.

صمم الفريق مادة مرفعة من أسلاك ومجاوبات حلقات مشطورة (SRR) متداخلة معا وجمعها على هيئة **موشور** prism. وقد وافرت الأسلاك وسيط ε سالبا ووافرت الحلقات المشطورة وسيط μ سالبا: وكلاهما معا ينبغي أن يعطيا، كما فكروا، قرينة انكسار سالبة. وشكلوا كذلك، للمقارنة، موشورا مماثلا من التفلون Teflon، وهو مادة ذات قرينة انكسار موجبة قيمتها $n = 1.4$. وجّه الباحثون حزمة من الموجات الميكروية إلى وجه الموشور وكشفوا مقدار الموجات الميكروية البارزة وفق زوايا مختلفة. وكما هو متوقع، عانت حزمة الموجات الميكروية انكسارا موجبا من موشور التفلون ولكنها انكسرت انكسارا سالبا على موشور المادة المرفعة. أصبحت تكهنات «فيسيلاكو» حاليا حقيقة؛ فقد تم التوصل أخيرا إلى مادة ذات قرينة انكسار سالبة. أو هل تم ذلك فعلا؟

هل تَعمل حقا؟(**)

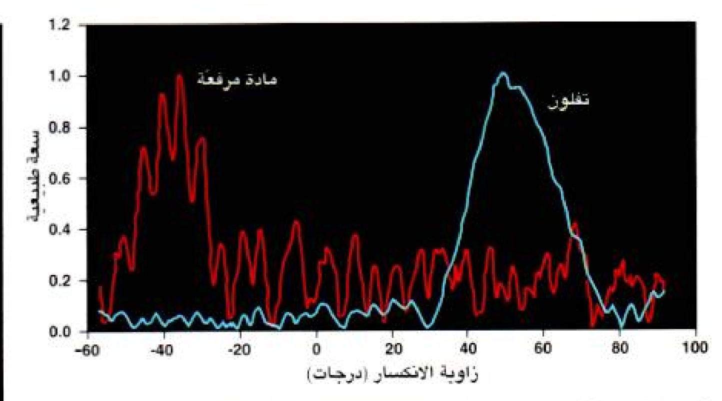
أدت تجارب جامعة كاليفورنيا، إضافة إلى تنبؤات جديدة رائعة كان الفيزيائيون يقومون بها حول المواد ذات قرينة الانكسار السالبة، إلى موجة عارمة من اهتمام الباحثين الآخرين. لم يدقق المجتمع العلمي في زمن فرضية «فيسيلاكو» الذي لم تكن توجد فيه مواد مرفعة، تدقيقا كافيا في مفهوم الانكسار السالب. أما الآن ومع إمكان أن تحقق المواد المرفعة الأفكار المقحمة التي تتضمنها هذه النظرية، فقد أولى الباحثون اهتماما أكبر بالموضوع. وبدأ المشككون يتساءلون ما إذا كانت المواد ذات قرينة الانكسار السالبة تخرق القوانين الأساسية للفيزياء. فإذا كانت كذلك، أصبح برنامج البحث كله باطلا.

تركزت أعنف المناقشات حول فهمنا لسرعة الموجة في مادة معقدة. يسير الضوء في الخلاء بأقصى سرعة له وهي 300 000 كيلومتر في الثانية. ويُرمز لهذه السرعة بالحرف c. أما سرعة الضوء في مادة ما فهي أخفض بمعامل مقداره قرينة الانكسار، أي أن السرعة $v = c/n$. ولكن ماذا لو كانت القرينة n سالبة؟ إن التفسير البسيط لعلاقة سرعة الضوء هو أن الضوء ينتشر إلى الخلف.

أما الجواب الأكمل فيأخذ بالاعتبار أن للموجة سرعتين، تدعيان سرعة الطور وسرعة المجموعة. ولفهم هاتين السرعتين لنتخيل نبضة ضوئية تسير عبر وسط ما. إن للنبضة شكلا مشابها لذلك المبين في *الرسم الأخير في إطار الصفحة 63*: تتزايد تموجات الموجة إلى حدها الأقصى في مركز النبضة ثم تعود فتتناقص بعده حتى تتلاشى. وسرعة الطور هي سرعة التموجات المفردة. أما سرعة الموجة فهي السرعة التي يتقدم بها شكل النبضة. وهاتان السرعتان ليستا بالضرورة متساويتين.

وتكون سرعتا المجموعة والطور في مادة ذات قرينة سالبة، كما اكتشف «فيسيلاكو»،

ENGINEERING A RESPONSE (*)
Does It Really Work? (**)



أكدت التجربة التي أجريت في الشركة بوينك فانتوم بسياتل باستخدام موشور من مادة مرفّعة أولا ثم من موشور من التّفلون (ذي القرينة الموجبة) ظاهرة الانكسار السالب. فقد كسر التفلون الموجات الميكروية بزاوية موجبة (*الخط الأزرق*)؛ أما المادة المرفّعة فبزاوية سالبة (*الخط الأحمر*).

مكشاف
موشور
عدسة
ذراع دوارة
مرسل ميكروموجي

متعاكستين في الاتجاه. ومن الغريب أن التموجات المفردة للنبضة تسير إلى الخلف وحتى لو كان شكل النبضة كله يسير إلى الأمام. إن لهذه الحقيقة أيضا نتائج مدهشة في حالة حزمة مستمرة من الضوء، مثل تلك التي تصدر عن مصباح ومضي مغمور كليا في مادة ذات قرينة سالبة. فلو كان بإمكانك مراقبة التموجات المفردة للموجة الضوئية لكنت رأيتها تخرج من هدف الحزمة وتسير إلى الخلف على طول الحزمة ثم تختفي في النهاية داخل المصباح الومضي كما لو كنت تشاهد فيلما يُعرض بالعكس، مع أن طاقة الحزمة الضوئية تسير إلى الأمام مبتعدة عن المصباح، تماما كما هو متوقع. وذلك هو الاتجاه الذي تسير الحزمة وفقه، على الرغم من حركة التموجات المذهلة نحو الخلف.

ليس من السهل عمليا دراسة التموجات المفردة لموجة ضوئية، كما أن تفاصيل النبضة يمكن أن تكون معقدة للغاية، ولذلك غالبا ما يلجأ الفيزيائيون إلى حيلة بارعة لتوضيح الفرق بين سرعتي الطور والمجموعة. فإذا جمعنا معا موجتين مختلفتي الطول الموجي تسيران في الاتجاه نفسه تداخلت الموجتان وولدتا شكلا **خفقانيا** beat. والخفقات تسير بسرعة المجموعة.

لاحظ <P. M. فالانجو> وزملاؤه [في جامعة تكساس بأوستن] شيئا مثيرا للفضول عند تطبيق هذا المفهوم على اختبارات جامعة كاليفورنيا المتعلقة بالانكسار التي أجريت عام 2002. فحين تنكسر موجتان طولاهما الموجيان مختلفان عند السطح الفاصل بين مادة ذات قرينة سالبة وأخرى ذات قرينة موجبة فإنهما تنكسران بزاويتين مختلفتين بعض الشيء. أما شكل الخفقان الناتج فبدل أن يتبع الحزم المنكسرة انكسارا سالبا يبدو أنه يخضع بالفعل لانكسار موجب. وبمساواة شكل الخفقان هذا مع سرعة المجموعة استنتج الباحثون في تكساس أن أي موجة يمكن تحقيقها فيزيائيا سوف تخضع لانكسار موجب. فعلى الرغم من إمكان وجود مادة ذات قرينة سالبة، فإن الانكسار السالب كان مستحيلا.

إذا افترضنا أن ما توصل إليه الفيزيائيون في تكساس كان صحيحا، فكيف يمكن للمرء أن يفسر نتائج تجارب جامعة كاليفورنيا؟ لقد عزا <فالانجو> والعديد من الباحثين الانكسار السالب الظاهري إلى مجموعة من الظواهر الأخرى المختلفة. فربما امتصت العيّنة بالفعل قدرا كبيرا من الطاقة لدرجة أن الموجات لم تستطع أن تتسرب إلا من الجانب الضيق للموشور متنكرة بهيئة موجات منكسرة انكسارا سالبا؟ وفي نهاية المطاف كانت عينة جامعة كاليفورنيا ذات امتصاص ذي شأن، والقياس لم يؤخذ عند مسافة بعيدة جدا عن وجه الموشور، وهذا يجعل نظرية الامتصاص هذه إمكانا محتملا.

سببت هذه الاستنتاجات قلقا كبيرا لأنها يمكن أن لا تؤدي إلى إبطال تجارب جامعة كاليفورنيا فقط، وإنما إلى إبطال جميع الظواهر التي تنبأ بها <فيسيلاكو> أيضا. وبعد شيء من التفكير أدركنا، على أي حال، أنه كان من الخطأ الاعتماد على شكل الخفقان دليلا على سرعة المجموعة. وقد استنتجنا أن شكل التداخل الناتج لموجتين تسيران باتجاهين مختلفين يفقد علاقته بسرعة المجموعة.

وبمجرد أن بدأت حجج النقاد تنهار أتت تأكيدات تجريبية أخرى حول الانكسار السالب. فقد كررت مجموعة <M. تانيليان> [في بوينك فانتوم Boeing Phantom Works بسياتل] تجارب جامعة كاليفورنيا باستخدام موشور من مادة مرفعة ذات امتصاص منخفض جدا. وكذلك وضع فريق المجموعة بوينك المكشاف على مسافة أبعد كثيرا عن الموشور بحيث يمكن عدم اعتبار الامتصاص في المادة المرفعة السبب في حزمة الانكسار السالب. وأخيرا وضعت الجودة النموذجية للبيانات التي قدمتها مجموعة بوينك والمجموعات الأخرى حدا لأي شكوك باقية حول وجود الانكسار السالب. وأصبحنا منذئذ أحرارا في المضي قدما لاستغلال هذا المفهوم، وإن تكن دقة المواد الجديدة قد بسطته.

ما بعد <ڤيسيلاكو>(*)

بدأنا، بعد انقشاع دخان المعركة، ندرك أن القصة الرائعة التي قصها <ڤيسيلاكو> لم تكن الكلمة الأخيرة حول كيفية سلوك الضوء في المواد ذات القرينة السالبة. وكانت إحدى الأدوات المفتاح رسم الأشعة ـ وهي عملية رسم الخطوط التي تبين الطريق الذي ينبغي أن تسلكه أشعة الضوء، بما في ذلك انعكاسها وانكسارها عند السطح الفاصل بين المواد المختلفة.

إن رسمَ الأشعة تقنيةً فعالة تساعدنا، على سبيل المثال، على فهم لماذا تبدو الأشياء في حوض السباحة أقرب إلى السطح مما هي في الواقع، ولماذا يبدو قلم رصاص

(*) Beyond Veselago

نصف مغمور مثنيا. إن هذا يحدث بسبب أن قرينة انكسار الماء (n تساوي تقريبا 1.3) أكبر من تلك التي للهواء، وتنثني أشعة الضوء عند السطح الفاصل بين الهواء والماء. أما قرينة الانكسار فتساوي تقريبا نسبة العمق الحقيقي إلى العمق الظاهري.

يقتضي رسم الأشعة أيضا أن الأطفال الذين يسبحون في حوض ذي قرينة انكسار سالبة سوف يبدون كما لو أنهم يطفون فوق السطح (وهذه صفة قيّمة من صفات السلامة!) كما أن جميع محتويات الحوض ـ وحاويته ـ سوف تبدو كذلك فوق السطح.

استخدم ‹فيسيلاكو› رسم الأشعة لكي يتنبأ بأن شريحة من مادة سالبة الانكسار، قرينة انكسارها $n = -1$، ينبغي أن تعمل عمل عدسة ذات خواص لا سابق لها. ومعظمنا يعرف جيدا العدسات ذات القرينة الموجبة ـ في آلات التصوير والعدسات المكبرة والمجاهر والمقاريب (التلسكوبات). ولها جميعها بعد بؤري، حيث يعتمد مكان تشكل الخيال على علاقة بين البعد البؤري والمسافة بين الجسم والعدسة. ويكون الخيال عادة مختلفا بمقاسه عن الجسم، وتعمل هذه العدسات بصورة أفضل عندما تقع الأجسام على المحور المار من العدسة. أما عدسة ‹فيسيلاكو› فهي تعمل بصورة مختلفة اختلافا كليا عن تلك [*انظر الإطار في هذه الصفحة*]: إنها أبسط كثيرا، فهي تشكل أخيلة للأجسام المجاورة لها فقط وهي تنقل الحقل البصري بكامله من أحد جانبي العدسة إلى الجانب الآخر.

لقد كانت عدسة ‹فيسيلاكو› غير عادية، لدرجة أن ‹بندري› كان مضطرا لأن يتساءل بأي درجة من الكمال يمكن أن تصنع لكي تؤدي وظيفتها. وبصورة خاصة كم سيكون **الميز** resolution النهائي لعدسة ‹فيسيلاكو›؟ تكون العناصر البصرية ذات القرينة الموجبة مقيدة **بحد الانعراج** diffraction limit لتمييز التفاصيل التي هي من قدّ الطول الموجي نفسه تقريبا للضوء المنعكس عن الجسم أو أكبر منه. يضع الانعراج الحد النهائي على جميع منظومات التصوير، مثل أصغر جسم يمكن رؤيته بواسطة مجهر أو أقرب مسافة بين نجمين يمكن تمييزها بواسطة مقراب. يحدد الانعراج كذلك أصغر الأشكال التي يمكن إنشاؤها بواسطة عمليات الطباعة الحجرية الضوئية في صناعة الشيپات الميكروية. وبطريقة مشابهة يحد الانعراج من كمّ المعلومات التي يمكن تخزينها ضوئيا على قرص ڤيديو رقمي (DVD) أو استعادتها منه. ويمكن لطريقة تتفادى حد الانعراج أن تُحدث ثورة في التقانات البصرية، فتتيح للطباعة الحجرية الضوئية الوصول إلى مقاييس نانوية، وربما تسمح كذلك بتخزين بيانات أكثر بمئات المرات على الأقراص الضوئية.

وكان يلزمنا، لمعرفة إذا كانت **البصريات** optics ذات القرينة السالبة تتفوق أو لا على مثيلاتها ذات القرينة الموجبة، أن نتجاوز رسم الأشعة. فتلك المقاربة تهمل الانعراج ولذلك لا يمكن استخدامها للتنبؤ بميّز العدسات ذات القرينة السالبة. وكان علينا، لأخذ الانعراج بالاعتبار، أن نستخدم وصفا أكثر دقة للحقل الكهرمغنطيسي.

العدسة الفائقة(*)

جميع مصادر الموجات الكهرمغنطيسية ـ سواء كانت ذرات مشعة أو هوائي راديو أو حزمة ضوء بارزة بعد عبورها من خلال فتحة صغيرة ـ إذا وُصفت بدقة أكبر فهي تُنتج نمطين متمايزين من الحقول: الحقل البعيد والحقل القريب. والحقل البعيد، كما تدل تسميته، هو الجزء الذي يُشعّ بعيدا عن الجسم ويمكن أن يُلتقط بواسطة عدسة لتشكيل خيال. ولكنه، للأسف، لا يحتوي إلا على صورة للجسم كما لو كانت مرسومة بفرشاة عريضة، ذلك أن الانعراج يحد من الميز فلا يتعدى قدّ الطول الموجي. أما الحقل القريب فهو يحتوي على تفاصيل الجسم الدقيقة جميعها، ولكن شدته تتناقص بسرعة مع ازدياد المسافة. وليس للعدسات ذات القرينة الموجبة أي فرصة لالتقاط الحقل القريب الضعيف جدا ونقله إلى الخيال. ولكن الأمر ليس كذلك بالنسبة إلى العدسات ذات القرينة السالبة.

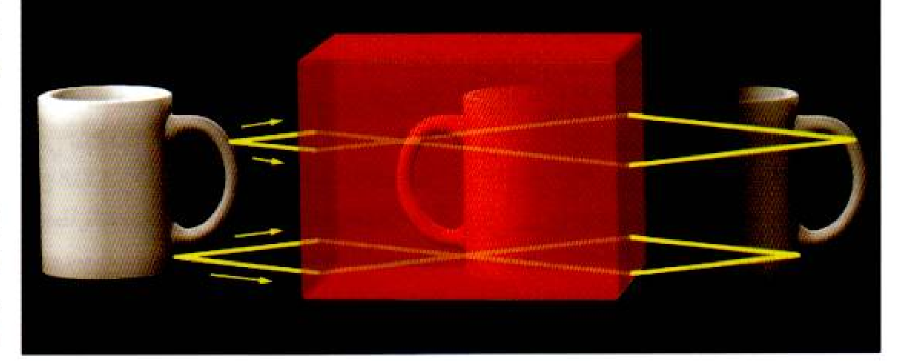
وبالفحص الدقيق للطريقة التي يتأثر بها الحقلان القريب والبعيد لمصدر ما مع عدسة ‹فيسيلاكو› استنتج ‹بندري› عام 2000 ـ وكان ذلك مفاجأة للجميع ـ أنه يمكن للعدسة، من حيث المبدأ، أن تعيد تبئير كلا الحقلين: القريب والبعيد. فلو كان هذا التنبؤ المذهل صحيحا لعنى ذلك أن عدسة ‹فيسيلاكو› لا تخضع لحد الانعراج الذي تخضع له جميع البصريات الأخرى المعروفة. وبناء على ذلك سميت الشريحة المستوية ذات القرينة السالبة **عدسة فائقة** superlens.

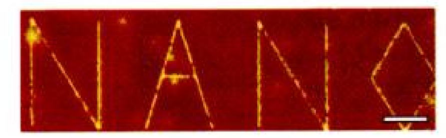
وقد وجدنا، في تحليل لاحق، مع غيرنا من الباحثين أن ميّز العدسة الفائقة محدود بجودة المادة ذات القرينة السالبة. فأفضل أداء لا يتطلب فقط أن تكون قرينة الانكسار $n = -1$، وإنما أن يكون كل من $\varepsilon = -1$ و $\mu = -1$. والعدسة التي لا تحقق هذه الشروط المثالية تعاني ميزا سيئا إلى حد كبير. وإن تلبية هذين الشرطين في آن واحد هي متطلب أساسي. لكن ‹A. كربيك› و ‹V. G. إليفثريادس› [من جامعة تورنتو]

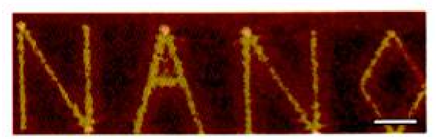
(*) THE SUPERLENS

العدسة الفائقة(*)

تشكل شريحة مستطيلة من مادة ذات قرينة سالبة عدسة فائقة. ينكسر الضوء (*الخطوط الصفراء*) الصادر عن الجسم (*في اليسار*) عند سطح العدسة، ثم يتجمع ليشكل خيالا معكوسا داخل الشريحة. ينكسر الضوء مرة أخرى لدى مغادرته الشريحة مشكلا خيالا ثانيا (*في اليمين*). يحتوي الخيال، من أجل بعض المواد المرفعة، تفاصيل أدق حتى من الطول الموجي للضوء المستخدم، وهذا مستحيل بالنسبة إلى العدسات ذات القرينة الموجبة.









تعمل طبقة من الفضة عمل عدسة فائقة عند مسافات قصيرة جدا. وهنا صُوِّرت كلمة "NANO" بواسطة حزمة أيونية مبأرة (*في اليسار*) وضوئيا من دون عدسة فائقة (*في الوسط*) وكذلك ضوئيا بوجود طبقة من الفضة سمكها 35 نانومتر (*في اليمين*). يبلغ طول شريط المقياس 2000 نانومتر. باستخدام العدسة الفائقة يكون الميز أدق من الطول الموجي للضوء المستخدم البالغ 365 نانومتر.

بيّنا في عام 2004 تجريبيا أن مادة مرفّعة مصممة بحيث يكون لها $\varepsilon = -1$ و $\mu = -1$ عند الترددات الراديوية، تستطيع بالفعل تمييز الأجسام عند مقياس أصغر من حد الانعراج. وبرهنت نتيجتهم على أنه بالإمكان بناء عدسة فائقة ـ ولكن هل يمكن بناء عدسة للأطوال الموجية الضوئية الأقصر؟

إن التحدي لجعل المواد المرفعة تناسب الأطوال الموجية الضوئية هو تحد مضاعف. فأولا، يجب إنقاص أبعاد العناصر المعدنية الموصلة التي تشكل الدارات الميكروية للمادة المرفعة مثل الأسلاك والمجاوبات SRR إلى مقياس النانومتر لكي تكون أصغر من الطول الموجي للضوء المرئي (400 إلى 700 نانومتر). وثانيا، إن الأطوال الموجية القصيرة تقابل الترددات الأعلى، وعند هذه الترددات تسلك المعادن سلوكا أقل شبها بالموصلات، ولذلك فهي تجعل التجاوبات التي تعتمد عليها المواد المرفعة تتخامد. وفي عام 2005 بيّن <C. سوكوليس> [من جامعة ولاية أيوا] و<M. فيكنر> [من جامعة كارلسروه في ألمانيا] تجريبيا أنه يمكن أن تُجعل المجاوبات SRR تعمل عند أطوال موجية صغيرة تساوي 1.5 ميكرون. ومع أن التجاوب المغنطيسي يصبح ضعيفا تماما عند هذه الأطوال الموجية القصيرة، فلايزال ممكنا تشكيل مواد مرفعة مشوّقة.

لكننا مازلنا لا نستطيع صنع مادة يكون لها $\mu = -1$ عند الأطوال الموجية المرئية. ولحسن الحظ هناك حل وسط ممكن. فعندما تكون المسافة بين الجسم والخيال أصغر كثيرا من الطول الموجي يلزم فقط تحقيق الشرط $\varepsilon = -1$، ويمكن عندئذ تجاهل الوسيط μ. وفي العام 2005 فقط قامت مجموعة <R. بلايكي> [من جامعة كانتربري في نيوزيلندا] ومجموعة <X. جانك> [من جامعة كاليفورنيا في بيركلي] بصورة مستقلة باتباع هذه الوصفة وعرضتا مَيْزا فائقا superresolution في منظومة بصرية.

ويمكن أن تؤدي التجاوبات المتأصلة للمعادن إلى سماحية[1] (ε) سالبة عند الأطوال الموجية الضوئية. وهكذا يمكن لطبقة رقيقة جدا من معدن أن تعمل عمل عدسة فائقة عند طول موجي تكون عنده $\varepsilon = -1$. استخدم كل من <بلايكي> و<جانك> طبقة من الفضة سمكها نحو 40 نانومتر لتصوير ضوء طول موجته 365 نانومتر خارج من فتحات ذات أشكال أصغر من طول موجة الضوء. وعلى الرغم من كون شريحة من الفضة بعيدة عن العدسة المثالية، فإن العدسة الفائقة الفضية حسّنت بصورة جوهرية ميز الخيال، وهذا يبرهن على المبدأ الذي تعمل وفقه العدسات الفائقة.

نحو المستقبل[*]

ليس البرهان على مبدأ العدسات الفائقة سوى الأخير من العديد من التنبؤات التي ينبغي تحقيقها والمتعلقة بالمواد ذات القرينة السالبة ـ وهذا مؤشر على التقدم السريع الذي حدث في هذا الحقل الناشئ. وقد دفعت آفاق الانكسار السالب الفيزيائيين لإعادة فحص علم الكهرمغنطيسية جميعه تقريبا. وبمجرد أن أصبحت الظواهر الضوئية الأساسية ـ مثل الانكسار وحدّ الانعراج ـ مفهومة تماما صارت لديها انعطافات جديدة في سياق المواد ذات القرينة السالبة.

ولايزال قائما ذاك الحاجز أمام ترجمة سحر المواد المرفّعة والمواد ذات القرينة السالبة إلى تقانة قابلة للاستخدام. وستتضمن مثل هذه الخطوة جعل تصميم المواد المرفعة أكثر كمالا وجعل أسعارها مقبولة. وإن المجموعات العديدة التي تعمل حاليا في هذا الحقل تتصدى بقوة لهذه التحديات. ■

(*) Toward the Future
(1) permittirity
(2) quantization of thermal conductivity

المؤلفان

John B. Pendry - David R. Smith

كانا عضوين في فريق الباحثين الذي تشاطر جائزة ديكارت للبحث العلمي لعام 2005 لمساهماتهما في المواد المرفّعة. وقد تعاونا على تطوير مثل هذه المواد منذ عام 2000، وكان تركيز <بندري> على البحث النظري و<سميث> على التجارب. <بندري> أستاذ الفيزياء في الكلية Imperial College بلندن، وكان اهتمامه الرئيسي مؤخرا مقتصرا على الظواهر الكهرمغنطيسية، إضافة إلى الاحتكاك الكمومي ونقل الحرارة بين البنى النانوية وتكمية التوصيل الحراري[2]. و<سميث> أستاذ هندسة الكهرباء والحاسوب في Duke University. وقد درس انتشار الموجة الكهرمغنطيسية في المواد غير العادية، ويتعاون حاليا مع عدة شركات لتحديد التطبيقات الجديدة للمواد المرفّعة والمواد ذات القرينة السالبة وتطويرها.

مراجع للاستزادة

Reversing Light with Negative Refraction. John B. Pendry and David R. Smith in *Physics Today*, Vol. 57, No. 6, pages 37–43; June 2004.

Negative-Refraction Metamaterials: Fundamental Principles and Applications. G. V. Eleftheriades and K. Balmain. Wiley-IEEE Press, 2005.

More information on metamaterials and negative refraction is available at:

www.ee.duke.edu/~drsmith/

www.cmth.ph.ic.ac.uk/photonics/references.html

esperia.iesl.forth.gr/~ppm/Research.html

www.nanotechnology.bilkent.edu.tr/

www.rz.uni-karlsruhe.de/~ap/ag/wegener/meta/meta.html

Scientific American, July 2006

تأثير برامج الطب العدلي[1] التلفازية في قرارات المحلّفين(*)

لقد شعر المحامون والمحققون والمربّون بمدى تأثير برامج الطب العدلي التلفازية - التي تحظى بشعبية واسعة - في قرارات المحلفين.

<M. M. هوك>

كان علم الطب العدلي العمودَ الفقريَّ للروايات البوليسية (التي تُعنى بحل لغز جريمة خفيّة) بدءا من قصص مغامرات دوپان[2] التي كتبها <E. A. پو>، مرورا بحكايات <شرلوك هولمز> التي ألفها السير <A. C. دويل>، وبمسلسل Quincy الذي قدمه للتلفاز الكاتب <J. كلوكمان>، وصولا إلى برامج الطب العدلي التي تلقى إقبالا باهرا في أيامنا هذه. وقد تنبأت الأساليبُ التي اتبعها المحققُ <شرلوك هولمز> بكثير من التقنيات الحقيقية للربط بين مرتكب الجريمة والأدلة المادية، مثل فحص الدم. وقد اعتُبِرَ علمُ الطب العدلي مهنة في أوائل القرن العشرين، وأصبح مثارَ اهتمام بالغ للناس في تسعينات القرن الماضي، وذلك إثر الحدث العلمي البارز، ألا وهو تحليل الدنا[3].

وفي هذه الأيام، تحظى ثمانية عروض درامية للطب العدلي بشعبية لم تكن قط تمتلكها سابقا، وهي تتضمن برنامجا يعرض تحقيقا في مسرح الجريمة[4] CSI، وبرامج مرتبطة به. وهي تشغل المراكز العشرين الأولى من بين جميع العروض التي قُدِّمت في الشهر 2005/10. وفي أحد أيام الثلاثاء من ذلك الشهر، كان 27 في المئة من جميع أجهزة التلفزة الأمريكية تعرض البرامج CSI. وكانت قناة تلفازية كبليّة cable تقدم برنامجا يُسمى ملفّات الطب العدلي[5]، وهو مسلسل له طابع وثائقي يعرض جرائمَ واقعية وعلماءَ حقيقيين أربعةَ أيام في الأسبوع. وتترك مثلُ هذه البرامج انطباعا بأن مختبرات الطب العدلي تعجّ بمجموعة واسعة من الموظفين الذين تلقَّوْا تدريبات متطورة وتستعينُ بقدر كبير من التجهيزات المبنيَّة على أحدث التقنيّات، وقد أُتيحت لها المواردُ الضرورية لإنهاء كل قضية في الوقت المحدّد لها.

بيد أن الفجوة بين فهم الناس لهذه الأشياء والحقيقة ما زالت واسعة. ثم إن شعبيةَ هذه العروض أدّتْ إلى تذمُّرات ممَّا أُطلق عليه اسم مفعول البرامج[6] CSI: فقد تولَّد لدى الناس انطباع بأن بعض المحامين والقضاة، الذين تتلمذوا على البرامج CSI، الذي ظل يبثُّ على الهواء منذ عام 2000، صاروا يطالبون الآن بمستويات غير معقولة من الأدلة المادية في المحاكمات. أمّا كون مفعول البرامج CSI ذا تأثير قابل للقياس في سلوك قاعة المحكمة، فما زال موضوعا قابلا للنقاش. ومع ذلك، لا شك في أن نشاطات رجال الشرطة تأثرت بالبرامج CSI، إذ صاروا الآن يجمعون قدرا أكبر من الأدلة مما كانت عليه الحال في أي وقت مضى؛ كما تزايدت أُسِّيا بعض برامج الطب العدلي، التي تُعْرَضُ في مراكز الأبحاث والأقسام الأكاديمية المختصة. وقد حدث الشيء نفسه في المختبرات المثقلة بأعبائها، وهي تختلف كثيرا عن مراكز التحليل التي تعرض على شاشات التلفاز كقصور مبهرجة تسطع عليها أنوار زرقاء.

مفعول البرامج CSI في قاعة المحكمة(***)

في إحدى حلقات هذا الموسم من مسلسل البرامج CSI، كانت الحلقة تضم فريقا تلفازيا يسجل نشاطات المحققين على مسرح جريمة غير حقيقية. وهنا يُرى كبير المحققين <G. كريسوم> وهو يزجُر الفريق بقوله: «لِمَ تفعلون هذا، وهناك عروض كثيرة جدا للطب العدلي يقدمها التلفاز؟» هذا وإن كثيرا من المحامين والقضاة، الذين يعتقدون

نظرة إجمالية/ العلم مقابل الخيال(**)

- **لاحظ المدَّعون العامّون والقضاةُ وضباطُ الشرطة وجودَ ما يسمونه مفعول البرامج CSI، الناشئ عن برامج الطب العدلي (الشرعي) التلفازية، الذي يدفع المحلَّفين إلى طلبات غير معقولة بخصوص كمية الأدلة المادية وجودتها.**
- **لم يَثْبُتْ حتى الآن وجودُ مفعول البرامج CSI في قاعات المحاكم. لكن البرامج التلفازية أدت إلى زيادة الطلب على الأدلة المادية، مما أسهم في طرح قضايا تتعلق بنقص عدد العاملين وأمكنة تخزين الأدلة.**
- **مما لا شك فيه أن العروض التلفازية أسهمت أيضا في تعاظم اهتمام المعاهد العلمية بالأدلة التي يقدمها الطب العدلي، ويشهد على ذلك التزايد الهائل في عدد المتقدمين إلى دراسة هذا التخصص، منذ بدء عرض مسلسلات البرامج CSI على شاشات التلفاز.**

(*) العنوان الأصلي: CSI: REALITY
(**) Overview/ Science vs. Fiction
(***) The Effect in the Courtroom
(١) forensic عدلي أو شرعي.
(٢) Dupan Adventures
(٣) DNA analysis
(٤) CSI: Crime Scene Investigation
(٥) Forensic Files
(٦) CSI effect: تأثر المحلفين بالتقنيات والإجراءات المبالغ فيها والتي تعرضها البرامج التلفازية وتستعين بالطب العدلي لكشف الجرائم. (التحرير)

بأن المحلّفين واقعون تحت تأثير مفعول البرامج CSI، موافقون على رأي كبير المحققين. لكنْ إلى أي مدى يؤثر مسلسل البرامج CSI والبرامج المرتبطة به في توقعات المحلّفين التي يأتون بها إلى المحاكمات؟

بدأت الصحافة تُولي هذا الموضوع اهتمامَها عام 2003، وذلك بسردها حكايات ونوادرَ رواها محامون وقضاة عمّا يبدو أنه تغيُّرٌ في سلوك المحلّفين. وفي عام 2005، أخبر ‹J. ماركيز› [المدعي العام لولاية أوريگون ونائب رئيس الاتحاد الوطني للمُدَّعين العامين] قناة CBS News الفضائية أن «المحلفين يتوقعون منا الآن إجراء اختبار الدنا في كلِّ قضية تقريبا. إنهم يتوقعون منا أن نكون مستوعبين لأكثر التقانات تقدما، وأن تكون هذه التقانات شبيهة بما يرونه في التلفاز.» وقد حدث ذلك فعلا، عندما شكا المحلفون في قضيةِ جريمةِ قتل ارتُكبت في لوس أنجلوس، من أنه لم يُجْرَ على معطف ملوَّث بالدماء اختبارُ الدنا، مع أنه لم يكن لمثل هذا الاختبار ضرورة، ذلك أن المتهم اعترف بأنه كان موجودا في مكان الجريمة. وقد صرّح القاضي أن التلفاز أسهم في تعريف المحلفين باختبارات الدنا، لكنه لم يعلّمهم متى يجب اللجوء إليها. وفي بحث أُجري في Delaware عن كيفية تعامل المحلفين مع الأدلة، ورد أن أحد المحلَّفين في قضية دنا معقدة، شكا من أن هذا النوع من المشكلات التي واجهها في القضية لم يَرِدْ «في البرامج CSI.»

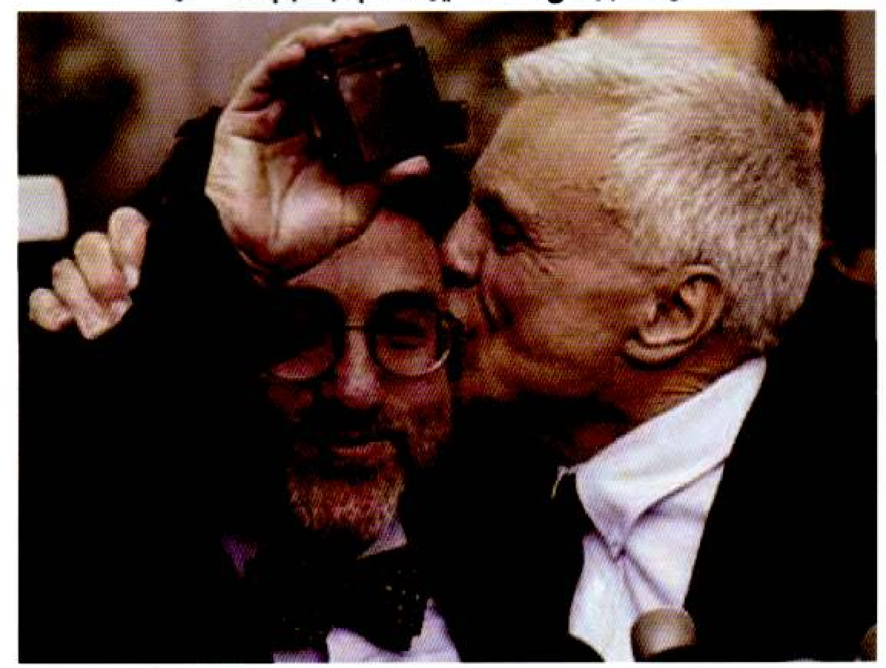
وقد أنحى المحامون باللائمة على مفعول البرامج CSI، حين برَّأ محلّفون في بالتيمور رجلا من ارتكاب جريمة، على الرغم من وجود شاهدي عيان موثوقين في مكان وقوعها، وذلك بسبب نقص الأدلة المادية. وقد صرح ‹J. ليفين› [محامي الدفاع في ولاية نيوجيرسي] لإحدى الصحف المحلية بقوله: لقد رأيت تغيرا كبيرا يطرأ على المحلفين وعلى ما يتوقعونه في السنوات الخمس الأخيرة، إذ صاروا يطرحون أسئلة على القاضي خلال مداولات المحاكمة للاستفسار عمّا يرونه أدلة ناقصة. إنهم يريدون معرفة أين تقع بصمات الأصابع أو الدنا. فإذا لم تكن هذه الأشياء متوافرة، فهم يريدون معرفة سبب عدم توافرها. وفي محاولة القتل التي نُسبت إلى الممثل ‹R. بليك›، والتي جرت في كاليفورنيا، حاول المدعون العامون إقناع المحلفين بوجود دافع للجريمة لدى ‹بليك›، وبتوافر فرصة متاحة لارتكابها، واستدعوا شهودًا أكّدوا أن ‹بليك› طلب إليهم قتلَ زوجته. لكنْ لم يُقَدَّمْ أيُّ دليل على وجود أي آثار للرصاصة أو الدماء، لذا أُخليَ سبيل ‹بليك›. وقد رُوِي عن أحد المحلفين قوله إنه لو كان المدعي العام «يملك جميع هذه المعلومات، لحُكِمَ على ‹بليك› بأنه مذنب.» وكانت هذه الهزيمة هي الأولى التي تعرّض لها المدعي العام من بين 50 قضية قتل.

وقبل أن تحظى البرامج CSI بشعبية واسعة، أصاب معظمَ المحامين قلق ناجم عن تشككهم في قدرة المحلّفين على فهم تعقيدات أدلة الدنا. ومع أن كثيرا منهم يُمضي حاليا وقتا طويلا في استيضاح الفرق بين الواقع وما يبثّه التلفاز. فقد أصبح من الممارسات العادية للمحامين أن يسألوا المحلّفين المستقبليين عن متابعتهم للبرامج التلفازية المتعلقة بمواضيع الطب العدلي. ثم إن بعض المدّعين العامّين يحاولون إبعاد أيِّ آثار محتملة لمفعول البرامج CSI عن القضايا الجرمية. وفي المحاكمات التي تجري في ولايات أريزونا وإيلينوي وكاليفورنيا، وضعوا في قاعة المحكمة أشخاصا يُطلَق عليهم اسم شهود أدلة النفي[1] في مكان وقوف الشهود، بغية لفت انتباه المحلّفين إلى أن المحققين في الحياة الواقعية غالبا ما يخفقون في العثور على أدلة مادية مثل الدنا أو البصمات، في مسرح الجريمة.

بيد أن كثيرا من الخبراء القانونيين يحاجّون في أن مفعول البرامج CSI قد يكون خادعا. فقد ذكرت الصحيفة، التي أوردت تصريح محامي الدفاع ‹ليفين› في نيوجيرسي، أن قاضي المحكمة العليا ‹A. كاروفولو› قال: «ربما كان رد فعلي الأولي هو أن أقول نعم، ثمة وجود لمفعول البرامج CSI؛ لكنني أظن أن هذا ربما كان اشتباها أكثر من أي شيء آخر. لديَّ شعور بأن هذا المفعول يمكن أن يكون حقيقيا،

(1) negative evidence witnesses

مفعول البرامج CSI: غير مذنب بسبب التلفاز؟



أدت ندرة الأدلة المادية إلى تبرئة ساحة الممثل <R. بليك> [الذي يظهر في الصورة وهو يقبِّل محاميه بعد صدور قرار تبرئته] من جريمة قتل زوجته <B. L.باكلي> عام 2001، على الرغم من وجود الدافع لديه والفرصة المتاحة لارتكاب الجريمة. ويُرى المحامي وهو يرفع عاليا بيده الجهاز ankle monitor. وفي دعوى مدنيّة أقيمت في وقت لاحق، ثبت أن <بليك> كان مسؤولا قانونيا عن حادثة الموت الأليمة.

لكنني في واقع الأمر لا أتذكر أي موقف سمعتُ فيه هيئة المحلفين تقول بأنها كانت تتوقع المزيد.»

في عام 2005، كتب <S. كول> [من قسم علم الجريمة والقانون والمجتمع في جامعة كاليفورنيا] في مجلة وول ستريت جورنال: «ربما كان القول بأن للتلفاز أثرا في قاعات المحاكم ليس بالكلام المستحيل، لكنّ القول بأن مسلسل البرامج CSI والعروض المشابهة له تزيد من عدد قرارات التبرئة هو ادّعاء مذهل. ومـا تجدر مـلاحظتـه، عند الحـديث عن عـروض الطب العدلي، هـو أنـه لا يُوجد قدر قليل من الأدلة المطلوبة لدعم التحقيقات فيها. ثمـة مـيدان واسع من الأبحـاث التي تدرس اتخـاذ المحلفين لقـراراتهم، لكنْ لا وجـودَ لدراسة هدفها تحديد أهمية مفعول البرامج CSI. فما هو متوافر يقتصر على أدلة من نوع الحكايات والنوادر.

ويبدو أن أول دراسة أجريت على مفعول البرامج CSI هي تلك التي نشرتها في الشهر 2006/2 <K. پودلاس> [المحامية والأستاذة المساعدة في قوانين وأخلاقيات وسائط الإعلام في جامعة نورث كاليفورنيا]. وقد خَلَصَتْ <پودلاس> في دراستها إلى أن فرصَ التبرئة وأسبابَها كانت نفسَها في حالتي المحلّفين المدمنين على مشاهدة عروض البرامج CSI، والمحلّفين الذين لم يشاهدوها ـ أي إنها توصلت إلى غياب مفعول البرامج CSI. بيد أن ثمة كثيرا من المحلّفين، الذين أُخضعوا للدراسة، قالوا بأن الافتقار إلى اختبارات الطب العدلي موضوعٌ يجب أن يُتَّخَذَ فيه قرار حاسم، مع أن الأدلة المادية قد لا تحل مشكلة التهم الافتراضية. هذا وقد أُجريت دراسات على محلّفين حقيقيّين، ويقوم حاليا خمسة من الطلبة الخريجين (ثلاثة في الولايات المتحدة، واثنان في إنكلترا) بإعداد أطروحاتهم عن مفعول البرامج CSI.

ما هو الحقيقي؟(*)

سواء أكانت عروضُ الطب العدلي تؤثر تأثيرا يمكن قياسه في طلبات المحلفين وقراراتهم أم لا، فما من شكٍّ في أن التلفاز يقدّم للمشاهدين صورة مشوهة عن الطريقة التي ينفَّذ بها علم الطب العدلي، وعمّا يمكن، أو لا يمكن، أن ينجزه هذا العلم. فالممثلون الذين يؤدون في التلفاز، مثلا، أدوار طاقم التحقيقات في الجرائم، هم خليط مكوّن من ضابطٍ في الشرطة ومحققٍ وعالمٍ في الطب العدلي ـ وهذا التوصيفُ الوظيفي غير موجود في عالم الواقع. فكلٌّ من تنفيذ القوانين والتحقيق وعمل الطب العدلي معقد جدًا، إذ إن كلاً من هذه الأعمال يتطلب فرعا علميا وتدريبا وطرائقَ خاصة به. ثم إن التخصص في مختبرات الطب العدلي صار ضرورة ملحّة منذ أواخر الثمانينات. وكلُّ عالم بالطب العدلي بحاجة إلى معرفة إمكانات الفروع العلمية الأخرى، لكنْ لا وجود لعالم يُعَدّ خبيرا في كلٍّ من مجالات التحقيق في مسرح الجريمة.

يضاف إلى ذلك أن المختبرات لا تُجري دائما جميع أنواع التحاليل بسبب تكلفتها أو قلة مواردها أو ندرة الطلبات عليها؛ ثم إن العروض التلفازية تسيء تقديم علماء الطب العدلي، إذ توحي بأن لديهم متسعا من الوقت لكل قضية؛ فغالبا ما يُولي عددٌ كبيرٌ من المحققين والتقنيين والعلماء اهتمامهم كلّه لإجراء تحقيق واحد. أمّا في واقع الحال، فإن العالمَ يكون مضطلعا بعدة قضايا موكولة إليه؛ ثم إن معظم مختبرات الطب العدلي تجد المسوّغات لاعتبار التحاليل المقدّمة إليها من المشكلات المعقّدة، لذا فإن القيام بها غالبا ما يكون مبررا لطلب ميزانيات أكبر لهذه المختبرات.

وفي تصويرها للتقنيات العلمية، تختلف أيضا برامج الطب العدلي، المقدمة في العروض التلفازية، عما يجري في العالم الحقيقي. ويقدِّر <T. موريبلّو> [أستاذ الطب العدلي في جامعة ماريلاند] أن نحو 40 في المئة من التحقيقات التي تستعين بالطب العدلي، والتي تعرضها البرامج CSI، ليس لها وجود في الواقع. هذا وإن <C. هندرسون> [مديرة دار المقاصّة الوطنية للعلوم والتقانة والقانون في كلية الحقوق التابعة لجامعة ستيتسون] أخبرت إحدى محطات الإذاعة التابعة للجامعة بأن المحلّفين «يصابون أحيانا بخيبة الأمل إذا لم تُستعمَلْ بعضُ التقانات الجديدة التي يظنون أنها موجودة.» وبالمثل، فإن المحققين العاملين لا يمكنهم أن يبلغوا الدقة التي بلغها نظراؤهم على شاشة التلفاز. فباستطاعة ممثل في التلفاز تحليلُ عينة مجهولة باستعمال جهاز ذي شاشات مضيئة وأضواء متوهجة، والحصولُ على النتيجة: «أحمر شفاه من النوع ماكس فاكتور، رقم اللون 42، رقم الدُّفعة 439-A». ويستطيع هذا الممثل نفسه أن يستجوب شاهدا ثم يقول: «نعرف أن الضحية كانت معك، لأننا اكتشفنا

(*) What Is Real?

أحمر شفاهها على ياقتك». أما في الحياة الواقعية، فنادرا ما تكون الأجوبة محددة بهذه الدرجة، كما أن من المحتمل ألاّ يواجه التحقيق الجنائي مباشرة شخصا مشتبها به. هذا ويمكن أن يتمخض عن هذا الاختلاف بين الحقيقة والخيال نتائج غريبة. فقد صرّح ضابط شرطة من نوكسفيل بولاية تنيسي بقوله: «كنت أحقق في قضية شخص حاول اللصوصُ سرقة سيارته، وقد ذكر لي أنه رأى ليفا أحمر في القسم الخلفي من السيارة، وطلب إليّ إجراء تحاليل لمعرفة مكوِّنات هذا الليف، وذلك للوصول إلى مخزن البيع بالمفرق الذي اشتُرِيَ منه، وبطاقة الائتمان التي استُعملتْ.»

الأنين تحت الأعباء(*)

على الرغم من عدم وجود جميع الأدوات التي تستعملها فرق البرامج CSI التلفازية، فلدى علماء الطب العدلي تقانات متقدمة تزداد مع الزمن تطورا وتعقيدا. لقد كانت تتطلب طرائقُ اختبار الدنا الأوّلية، التي استُعملت في أواخر الثمانينات، عينات بحجم ربع دولار أمريكي، أما الأساليب الحالية في التحليل فيكفيها عينة وزنها بضعة نانوغرامات[1] nanograms. ومن حين إلى آخر، نسمع في نشرات الأخبار عن حل لغز جريمة سُجِلتْ ضد مجهول أو عن استبعاد مشتَبَه فيه أو عن إلغاء حكم قضائي، وكل ذلك نتيجة استعمال تقانة متقدمة في علم الطب العدلي. وقد أضحت قواعد بيانات الدنا وبصمات الأصابع وذخائر الأسلحة النارية، مصادر مهمة تمكّن من الربط بين المجرمين والجرائم المتعدِّدة التي ارتكبوها.

ومع ذلك، وبعيدا عن حرية عرض المعجزات التي نراها على شاشات التلفاز، يبذل كثير من المختبرات جهودا حثيثة في مجال تحاليل الطب العدلي استجابة للطلبات المتزايدة الموجهة إليها. وفيما يتزايد تقديرُ محققي الشرطة لفوائد علم الطب العدلي، ويتزايد أيضا تعرُّضُهم لضغوط كي يقوموا بجمع قدر أكبر من الأدلة، فإنهم يقدِّمون مزيدا من الموادِّ المتعلقة بكثير من القضايا ليقوم الطبُّ العدليُّ بتَحليلها. هذا ويقول المحققون في سلك الشرطة، الذين كانوا يجمعون في وقت من الأوقات خمسة من الأدلة من مسرح الجريمة، إنهم يجمعون الآن ما يراوح بين 50 و 400 دليل. وفي عام 1989، لم تعالج مختبراتُ الطب العدلي في فرجينيا سوى بضع دستات من القضايا. أما عدد القضايا، التي تنخرط فيها المختبرات هذا العام، فقد بلغ الآلاف. وبالطبع، ليس من الممكن ولا من الضروري، أَخْذُ كلِّ شيء من مسرح الجريمة للتحليل. ولكن الضغوط الاجتماعيّة والمهنيّة والسياسيّة، المستندة إلى احتمالات غير واقعية والتي تولدها البرامج التلفازية، تقتضي أنه إذا جَلَب ضابط حقيبة مملوءة بأعقاب السجائر والأوراقِ التي تغلِّفُ الوجباتِ السريعة ونفايات أخرى، فثمة احتمال كَبير بتحويلِ معظم هذه المحتويات إلى مختبرات التحليل.

ثم إن هذا العمل كلّه يجب إنجازه، في كثير من الحالات، من قبل موظفين مثقلين بالأعباء الوظيفية. فعلى سبيل المثال، إن عدد سكان ولاية ماساتشوستس الموجودين خارج بوسطن، يقدَّر بنحو 6.3 مليون نسمة، وعدد محللي الدنا في هذه المنطقة ثمانية (وفي بوسطن نفسها، يوجد ثلاثة محللين). أمّا في مدينة نيويورك، التي عدد سكانها 8 ملايين نسمة، فيوجد 80 محللا للدنا. بيد أنه يوجد في ماستشوستس ومدينة نيويورك معدلان متقاربان من جرائم العنف (469.4 مقابل 483.3 لكل 100 000)، وهذه الجرائم هي من النمط الذي يتطلب، إلى حد بعيد، استعمال أدلة الدنا. وهكذا يبدو أن عددَ العاملين في برامج الطب العدلي في ماساتشوستس، مَثَلُها مَثَلُ كثير من الولايات الأخرى، قليل نسبيا. ولحسن الحظ، اكتشفت هذه الولايةُ عدم التوازن هذا، وفوّضت إلى أصحاب العلاقة توظيفَ مزيد من محللي الدنا في مختبرات الطب العدلي.

لقد ترتب على هذه النزعة الجديدة استفحال المشكلة المزعجة أصلا. وقد توصلت دراسة، نشرها حديثا مكتب الإحصائيات القضائية التابع لوزارة العدل في الولايات المتحدة، إلى أنه في أواخر عام 2002 (الذي أُتيحت فيه آخر البيانات)، جرى تحويل أكثر من نصف مليون قضية إلى مختبرات الطب العدلي، وأن نسبة ما نُفِّذَ من كامل الاختبارات المتعلقة بها يعادل 90 في المئة أو أكثر. وقد قدَّرت الدراسةُ أنه بغية إنجاز طلبات التحاليل لذلك العام، لا بد من توظيف 1900 شخص إضافي يعملون كامل ساعات الدوام المعتادة. وفي دراسة أخرى أجرتها وزارة العدل، تَبَيَّنَ أن أكبر 50 مختبرا للطب العدلي تسلّمت عام 2002 أكثر من 1.2 مليون طلب لإجراء تحاليل: وهذا

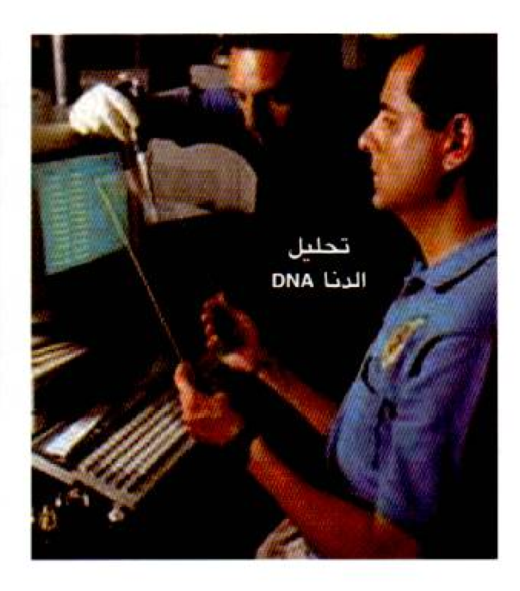
من سيحلل جميع هذه الأدلة؟

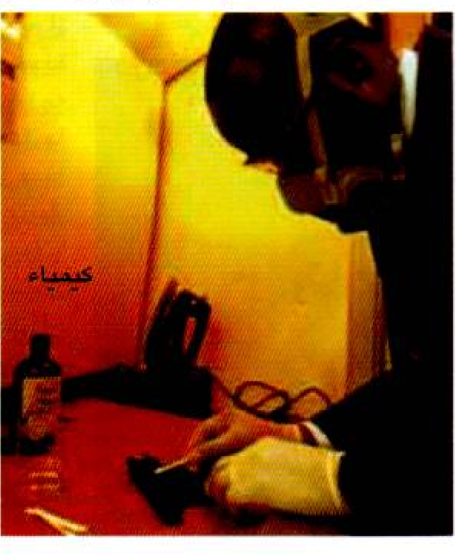


يفرضُ خزنُ ومتابعةُ ملايين الأدلة المادية تحديا حقيقيا يواجهُ المعنيين بتطبيق القوانين ومختبراتِ الطب العدلي.

(*) Groaning under the Load

(1) نانوغرام = 10^{-9} غرام.







يعني أن عدد القضايا التي قُدمت إلى هذه المرافق تضاعف خلال سنة واحدة. وقد حدثت هذه الزيادات مع أن معدلات الجريمة أخذت تتدنى منذ عام 1994.

وثمة أثر جانبي آخر للحجم المتصاعد للأدلة المادية، يتجلى في الحاجة إلى خزنها مددا مختلفة من الزمن، إذ إن هذه المدد مرتبطة بالقوانين المحليّة وقوانين الولاية والقوانين الفدرالية (الاتحادية). وتتضمن تحدياتُ خزنِ الأدلة وُجوبَ متابعة الأدلة من قبل الحواسيب والبرمجيات والعاملين؛ واقتناءَ التجهيزاتِ المناسبة لإجراء تصنيف أمن للأدلة البيولوجية مثل الدنا؛ وتوافر مخازن مناسبة لحفظ الأدلة المادية. وفي كثير من التشريعات القضائية، يمكن بعد الاحتفاظ بالأدلة لفترة محددة من الزمن إتلافها أو إعادتها إلى مصدرها. هذا وإن عمليةَ الخزن قد تكون موضوعا حساسا في القضايا القديمة أو الميّتة[1] ـ فقد تَوصّلَتْ إحدى كليات الحقوق في مدينة نيويورك إلى أن الأدلة لن يكون لها وجود في 75 في المئة من التحقيقات التي يحتمل ألاّ تنتهي إلى إدانات.

إن مجرد متابعة الأدلة الموجودة فعلا يمكن أن يكون مسألة إشكالية: فقد أثار بحثٌ أجرته الجمعية الأمريكية لمديري مختبرات (مخابر) الجريمة، إلى أن أكثر من ربع عدد مختبرات الطب العدلي الأمريكية لا تقتني الحواسيب اللازمة لتعقب الأدلة. ويُقدِّر <M. ديل> [مدير معهد الطب العدلي في إحدى الجامعات، ومدير مختبر دائرة شرطة نيويورك سابقا] أنه في العقد القادم ثمة حاجة إلى أكثر من 10 000 عالم إضافي في الطب العدلي للتعامل مع هذه المواضيع المتنوعة. يضاف إلى ذلك أن تنفيذَ تحديث مناسب لمرافق الطب العدلي سيكلّف 1.3 بليون دولار، وأن شراءَ آلات جديدة يتطلب توظيف مبلغ يتجاوز 285 مليون دولار.

الأثر في الحرم الجامعي(*)

لدى النظر إلى الجانب الإيجابي، نستطيع القول إنه تكوّن عند الناس، عن طريق عروض البرامج CSI والبرامج القريبة منها، انبهار بالعلم وإجلال له، بوصفه مهنة مثيرة ومهمة كانت غائبة عن الجماهير منذ برنامج أبولّو الفضائي. هذا وإن الانخراط في البرامج التعليمية للطب العدلي آخذ في الانتشار الواسع في طول الولايات المتحدة كلها. وعلى سبيل المثال، بدأ برنامج الطب العدلي في جامعة هونولولو بخمسة عشر طالبا، لكن هذا العدد بلغ مئة في أربع سنوات. وفي جامعة وست ڤرجينيا، التي أعمل فيها، تنامى برنامجُ علوم التحقيق الجنائي والطب العدلي كثيرا، بعد أن كان مقتصرا على أربعة خريجين فقط عام 2000، لكنه يشغل حاليا المرتبة الثالثة في الكبر بالحرم الجامعي، ذلك أنه يضم الآن أكثر من 500 طالب.

إن نمو البرامج الموجودة واستحداث برامج جديدة، أدّيا إلى إصدار المعهد الوطني للعدالة، بالتعاون مع جامعة وست ڤرجينيا، تقريرا خاصا عنوانه: *التعليم والتدريب في علم الطب العدلي: دليل مختبرات علم الطب العدلي، والمعاهد التعليمية والطلبة*. وقد وفّر هذا التقرير القاعدةَ لهيئة منح الإجازات المتعلقة ببرامج الطب العدلي بإشراف الأكاديمية الأمريكية لعلوم الطب العدلي. وبدءا من الشهر 2006/1، حصل 11 برنامجا على إجازات مؤقتة أو شرطيّة أو كاملة.

ومن المحتمل أيضا أن تكون شعبية البرامج CSI قد أثرت في ديموغرافية علم الطب العدلي. ففي التسعينات، كان تمثيل النساء والأقليات ناقصا في الأدوار الرئيسية للمسلسلات التلفازية المتعلقة بالمواضيع العلميّة. لكن السجل الحديث للبرامج CSI بيّن أن هذا التمثيل تحسّن عموما. فالنساء موجودات الآن في معظم برامج الطب العدلي التعليمية بالولايات المتحدة، وكذلك في مهن الطب العدلي. هذا وإن ثلثي عدد العاملين في إدارة مختبرات الطبّ العدلي هم حاليا من الذكور، لكن هذا الرقم سيتناقص قطعا مع تقدم عدد العاملات من النساء.

ومع ذلك، فإن أفضلَ نتيجة للاهتمام الشعبي بالطب العدلي، هي زيادة الاستثمارات في الأبحاث التي تُجرى فيه. ففي الماضي، كان معظم هذه الأبحاث يجرى في مختبرات الشرطة التي تعمل في مسائل محدَّدة لها علاقة بالقضية الخاضعة للتحقيق. لكن التقدم الحقيقي لهذه التقانات يتطلب إجراء الاختبارات في مختبرات أكاديمية. فمثل هذه المختبرات يستطيع دراسة مسائل من الواضح أنها تحتاج إلى مزيد من البحث. وعلى سبيل

(*) The Effect on Campus
(1) old or cold cases

شات التلفاز وكأنه يملك خبرات في مجالات متعددة من التخصصات.





«كاثرين ويلو» تؤدي دور محقق عدلي في البرامج التلفازية CSI.

المثال، تبيّن أن التحديات القانونية الحديثة تتطلب دراسةَ موضوع يتعلق بفرضية طالَ قبولُها، وهي الوحدانية المطلقة لبصمات الأصابع وعلامات الأختام وآثار العضّ وحزوز الرّصاصات والخطوط.

ومع تعاظم الاعتماد على علوم الطب العدلي، من الضروري أن تحظى هذه العلوم بدرجة أعلى من المصداقية. وقد أورد تقرير حديث، أعدّه المعهد الوطني للعدالة، أن الأبحاث الأساسية ضرورية للتحقق من صحة البصمات والدّمغات والأختام وأصالة الوثائق، ولفحص الأسلحة النارية. وقد أوصى التقرير أيضا بأن ترعى الحكومة الفدرالية أبحاثا لشرعنة[1] فروع علم الطب العدلي ومعالجة مبادئها الأساسيّة ومعدّل أخطائها ومعايير إجراءاتها. ومن الواضح أن تمويلا أكبر لمثل هذه الأبحاث سيكون إنجازا عميم الفائدة: فمن المثير للعجب أن تنفقَ الولاياتُ المتحدةُ 7 ملايين دولار فقط في السنة المالية 2006 على الأبحاث في الطب العدلي من خلال المعهد الوطني للعدالة (NIJ)، في حين يُنفق 123 مليون دولار على الطب البديل من خلال المعهد الوطني للصحة NIH.

إن أحدَ أهمِّ التزامات حكومة ديمقراطية لمواطنيها، هو أنْ تكفلَ لهم السلامةَ العامةَ بطريقة عادلة. ويمثّل الطبُّ العدلي جزءا مهما لا يتجزأ من عمليات إحقاق الحقّ في القضايا الجرمية. وفي القرن الحادي والعشرين، تُمثِّلُ مختبرات الطبِّ العدلي، المجهّزةُ جيدا، والتي يعمل فيها عدد كاف من التخصصيين، مرافقَ أساسيّة لتحقيق هذه الالتزامات. هذا وإن الاهتمام الشعبيَّ بعلوم الطبّ العدلي يتزايد مع الوقت ومع التحديات التي تثيرها دقة هذه العلوم وقدراتها. وحتى لو لم يكن لما يُسمى مفعول البرامج CSI وجود في قاعة المحكمة، فإن المفعولَ الحقيقيَّ هو إدراك الحاجة إلى تطوير مختبرات علوم الطب العدلي وأبحاثه. ■

(1) validate

المؤلف

Max M. Houk

مدير مشروع علوم الطب العدلي (الشرعي) التابع لجامعة وست فرجينيا. وكخبير في أدلة الأثر وأنثروبولوجيا الطب العدلي، فقد عهِدَ إليه الإشراف على Trace Evidence Unit في مختبر مكتب التحقيقات الفدرالي بين عامي 1992 و 2001. حصل على البكالوريوس في الأنثربولوجيا والماجستير في أنثروبولوجيا الطب العدلي من جامعة متشيكان الحكومية. وهو رئيس الهيئة المسماة Forensic Science Educational Program Accreditation Commission، وعضو في هيئتي تحرير «مجلة علوم الطب العربي» (JFS) والمجلة Journal of Forensic Identification، وعضو في الأكاديمية الأمريكية لعلوم الطب العدلي، وعضو مشارك في الجمعية الأمريكية لمديري مختبرات الطب العدلي وفي الاتحاد الدولي لكشف الجرائم.

مراجع للاستزادة

The CSI Effect: Fake TV and Its Impact on Jurors in Criminal Cases. Karin H. Catherin *The Prosecutor,* Vol. 38, No. 2; March/April 2004.

Public Forensic Laboratory Budget Issues. Perry M. Koussiafes in *Forensic Science Communications,* Vol. 6, No. 3; July 2004. Available at **www.fbi.gov**

Trace Evidence Analysis: More Cases in Forensic Microscopy and Mute Witnesses. Max M. Houck. Elsevier/Academic Press, 2004.

Fundamentals of Forensic Science. Max M. Houck and Jay A. Siegel. Elsevier/Academic Press, 2006.

For updates on forensic science legislation, visit: **www.crimelabproject.com/**

Scientific American, July 2006

إنسالة (روبوت) في كل بيت[*]

يتنبأ قائد ثورة الحاسوب الشخصي بأن الحقل الساخن القادم سوف يكون الإنسالية[1].

<B.> گيتس

تخيَّل أنك تشهد الآن ولادة صناعة جديدة. إنها صناعة تقوم على تقانات حديثة ذات اكتشافات جديدة، حيث تبيع بضعة من الشركات العريقة تجهيزات شديدة التخصص للاستخدام في العمل، ويُنتج عدد متزايد من الشركات المبتدئة دمى خلاقة وأدوات للهواة ومنتجات خاصة مهمة أخرى. لكنها أيضا صناعة شديدة التبعثر، فليس فيها سوى بضعة مقاييس[2] ومنصات[3] عامة، ومشاريعها معقدة وتطورها بطيء وتطبيقاتها العملية نادرة نسبيا. وفي الواقع، ومع كل ما فيها من إثارة وبَشيرة، لا يستطيع أحد أن يقول بيقين متى، أو هل، سوف تصل هذه الصناعة إلى الكتلة الحرجة[4]. لكنها إذا وصلت إليها، فإنها قد تغير العالم.

يمكن طبعا للفقرة السابقة أن تمثل وصفا لصناعة الحاسوب في منتصف سبعينات القرن العشرين، حينما أسَّستُ مع <P. ألَن> الشركة مايكروسوفت. حينئذ، كانت الحواسيب الكبيرة الباهظة التكلفة تنفِّذ عمليات أقسام المحاسبة ومعالجة البيانات في الشركات الكبرى ووزارات الدولة والهيئات الأخرى. وكان الباحثون في الجامعات والمختبرات الصناعية المتقدمة يصنعون لبنات البناء الأساسية التي يمكن أن تجعل عصر المعلومات ممكن الوجود. حينها طرحَت الشركة إنتل المعالج الميكروي 8080، وكانت الشركة أتاري تبيع اللعبة الإلكترونية الشهيرة Pong. وجهدَت نوادي الحاسوب المحلية لتعرف تماما كيف يمكن لهذه التقانة الجديدة أن تكون مفيدة.

نظرة إجمالية/ مستقبل الإنسالية[**]

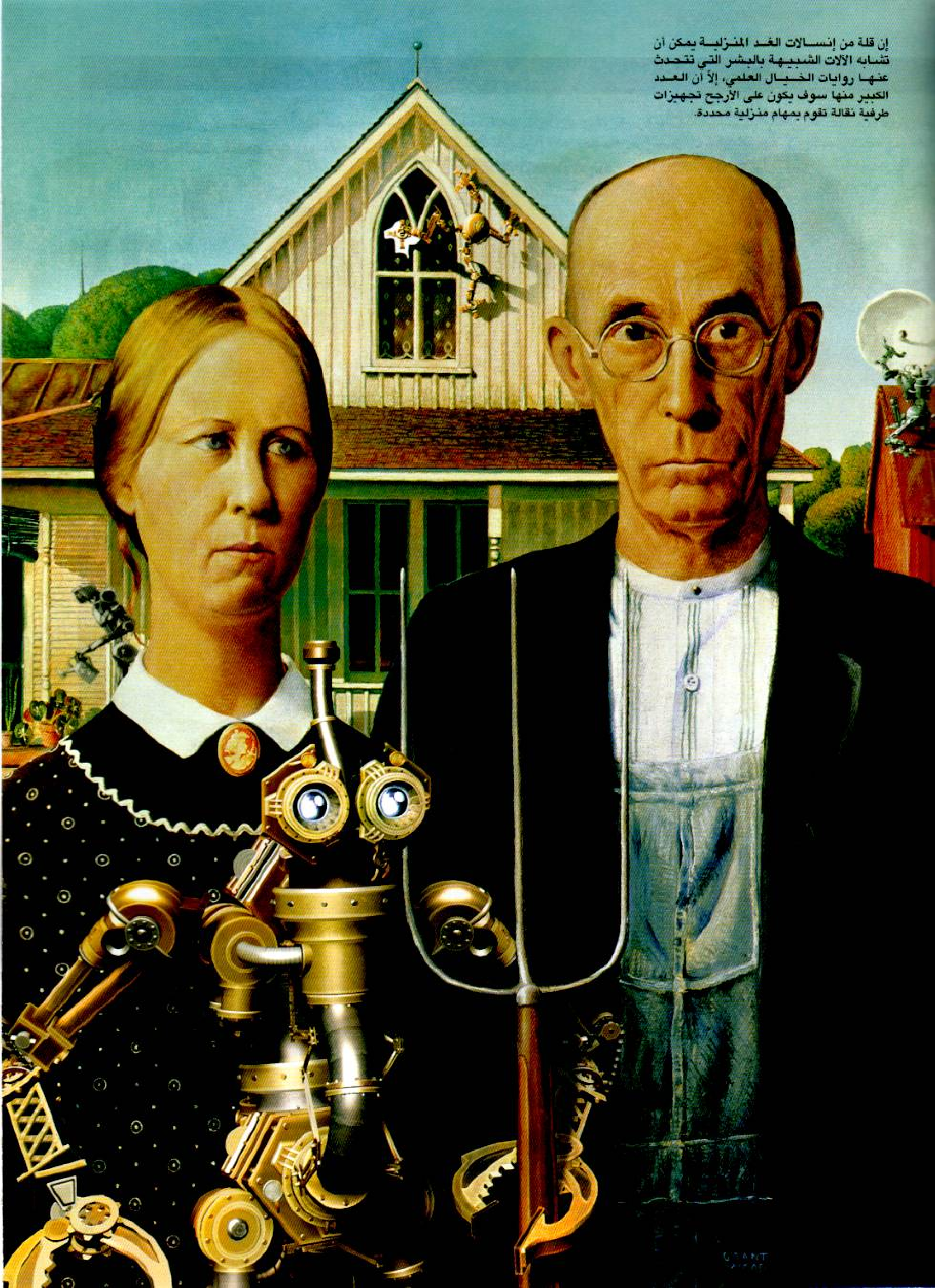
- تواجه الصناعة الإنسالية كثيرا من التحديات نفسها التي واجهتها صناعة الحاسوب الشخصي قبل 30 عاما. فبسبب الافتقار إلى مقاييس (معايير) ومنصات عامة، على المصممين عادة البدء من الصفر حين بناء آلاتهم.
- والمعضلة الأخرى هي تمكين الإنسالات من تحسُّس بيئتها والاستجابة إليها بسرعة. والانخفاض الأخير في تكاليف طاقة المعالجة والمحسَّات سوف يمكِّن الباحثين من التصدي لهذه المشكلات.
- يُمكن لبناة الإنسالات أيضا الاستفادة من الأدوات البرمجية الجديدة التي تسهِّل كتابة برامج تعمل في أنواع مختلفة من العتاديات. ويمكن لشبكات الإنسالات اللاسلكية أن تستمد طاقة حسابية من حواسيب شخصية لمعالجة مهام من قبيل الإدراك البصري وتحديد المسار.

لكن ما هو في ذهني فعلا شيء آخر أشد ارتباطا بالحقبة الحالية، وهو بزوغ الصناعة الإنسالية التي تتطور بالطريقة نفسها التي تطورت بها صناعة الحاسوب قبل 30 عاما. فالإنسالات التصنيع المستخدَمة حاليا في خطوط إنتاج السيارات يمكن أن تُعتبر مكافئة لحواسيب الأمس الكبيرة. ومن المنتجات البارزة لهذه الصناعة أيضا أذرع إنسالية تقوم بالجراحة، وإنسالات استطلاع نُشرت في العراق وأفغانستان للتخلص من القنابل المزروعة في جوانب الطرق، وإنسالات منزلية لتنظيف أرض الغرف. وقد صنعت شركات الإلكترونيات دمى إنسالية يمكنها تقليد الناس أو الكلاب أو الدينوصورات، وينتظر الهواة بفارغ الصبر وضع أيديهم على أحدث إصدار من نظام ليگو Lego الإنسالي.

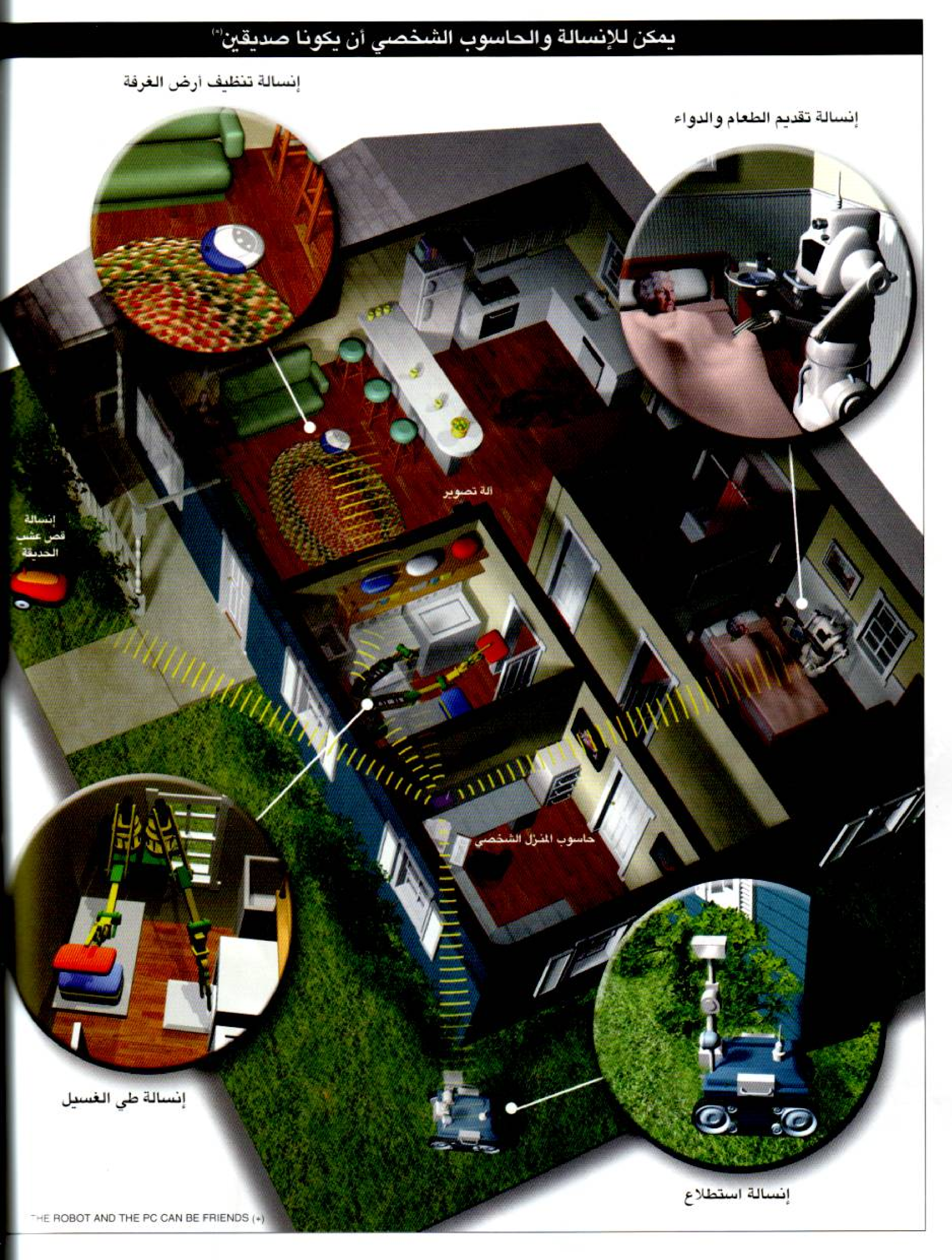
وفي الوقت نفسه، يحاول بعض أفضل الأدمغة في العالم حل أصعب المسائل في الإنسالية، كالإدراك البصري وتحديد المسار وتعلُّم الآلة؛ وهم يُحرزون نجاحا في هذا المضمار. ففي عام 2004، في التحدي الأكبر[5] الذي ترعاه وكالة مشاريع أبحاث الدفاع المتقدمة (DARPA)[6]، وهو مسابقة لصنع أول عربة إنسالية تستطيع تحديد طريقها ذاتيا على طريق طوله 142 ميلا في صحراء موجاڤ[7]، تمكَّن أفضل منافس من قطع مسافة 7.4 ميل فقط قبل أن يتعطل. أما في عام 2005، فقد قطعت خمس عربات المسافة كلها، وأنجزت العربة الرابحة ذلك بسرعة وسطية تساوي 19.1 ميل في الساعة. (في تشابه مدهش آخر بين صناعتي الحاسوب والإنسالية، موَّلت DARPA أيضا العمل لإقامة الشبكة Arpanet، وهي سلف precursor الإنترنت).

والأكثر من ذلك هو أن الصعوبات التي تواجه الصناعة الإنسالية اليوم تشابه تلك التي واجهتنا في صناعة الحاسوب قبل ثلاثة عقود. فليس لدى شركات الإنسالية برمجيات تشغيل مقيَّسة standard تتيح تشغيل برامج التطبيقات الشائعة في تجهيزات

(*) A ROBOT IN EVERY HOME
(**) Overview/ The Robotic Future
(١) إنسالة robot نحت من إنسان-آلي، ومنها نشتق إنسالية robotics.
(٢) ج: مقيس standard أو معيار، عيار.
(٣) platform، وتعني في هذا المقام آلة حاسوبية.
(٤) critical mass الكتلة الحرجة وهي مقدار المادة المشعة اللازمة لحصول سلسلة التفاعلات النووية.
(٥) Grand Challenge
(٦) Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)
(٧) Mojave Desert، صحراء تقع في جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية.
(التحرير)



إن قلة من إنسالات الغد المنزلية يمكن أن تشابه الآلات الشبيهة بالبشر التي تتحدث عنها روايات الخيال العلمي، إلاّ أن العدد الكبير منها سوف يكون على الأرجح تجهيزات طرفية نقالة تقوم بمهام منزلية محددة.



THE ROBOT AND THE PC CAN BE FRIENDS (*)

متنوعة. وتقييس[1] المعالجات والعتاديات الإنسالية[2] الأخرى محدود أيضا، وقليل من برامج التكويد[3] المستخدمة في آلة معينة يمكن أن يُستخدم في آلة أخرى. وحينما يرغب أحد ببناء إنسالة جديدة، فإن عليه عادة البدء من المربع الأول.

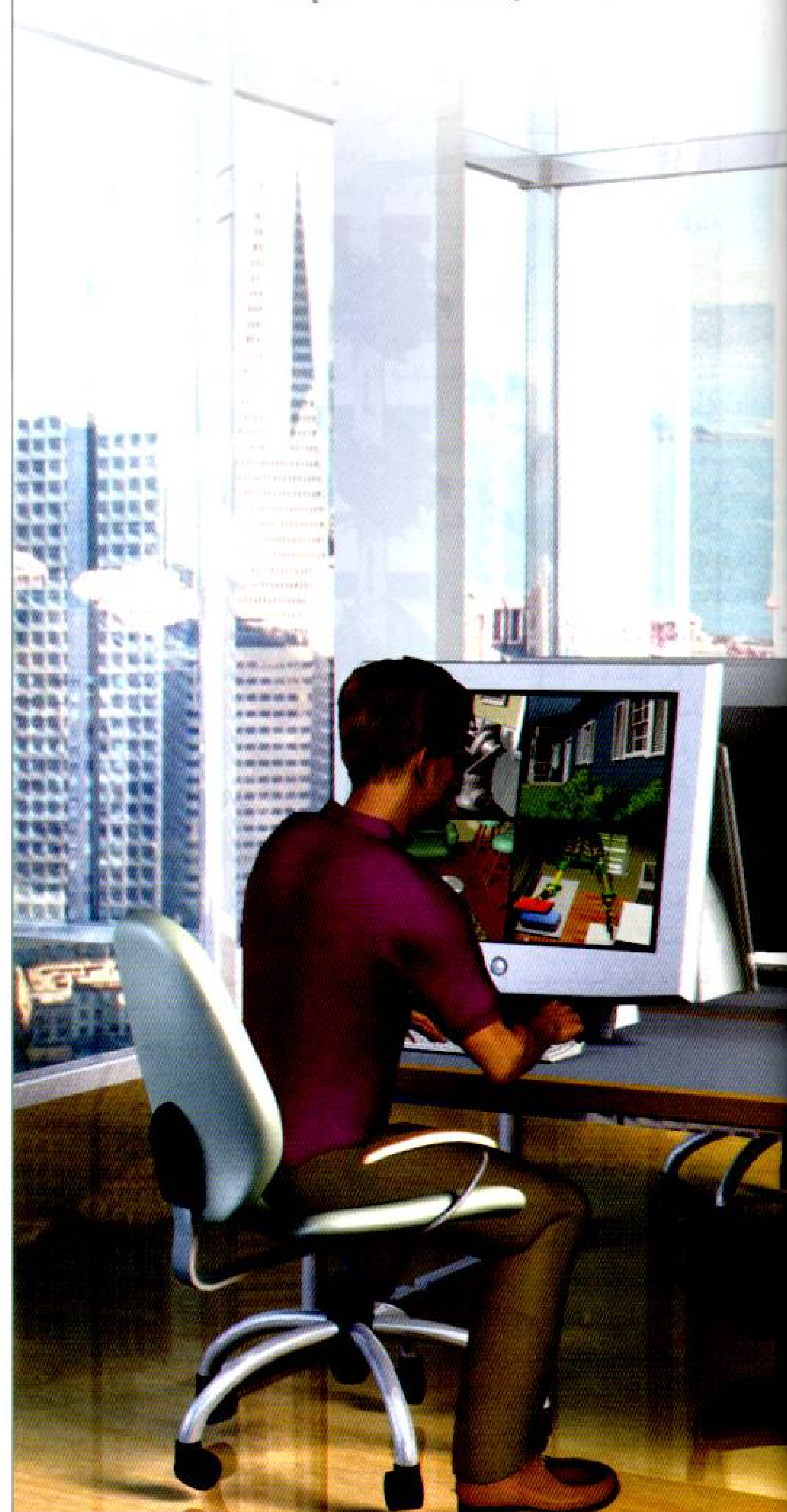
وعلى الرغم من هذه الصعوبات، حينما أتحدث إلى الناس المنغمسين في الإنسالية ـ من الباحثين في الجامعات إلى التجار والهواة وطلبة المدارس ـ فإن مستوى الإثارة والتوقعات لديهم تذكّرني كثيرا بذلك الزمن عندما ترقّبتُ (المؤلف) و‹P. ألَن› تلاقي التقانات الجديدة معا وحلمنا باليوم الذي يصبح فيه الحاسوب على كل مكتب وفي كل بيت. وحينما أنظر إلى التوجهات التي بدأت اليوم بالتقارب، أستطيع رؤية مستقبل سوف تصبح فيه التجهيزات الإنسالية شائعة تقريبا في حياتنا اليومية. إنني أعتقد أن تقانات من قبيل الحوسبة الموزعة[4]، وتعرُّف الكلام والصورة، والاتصالات اللاسلكية العريضة المجال[5] سوف تفتح الباب أمام جيل جديد من التجهيزات الذاتية التحكم التي تمكّن الحواسيب من تنفيذ مهام في العالم المادي نيابة عنا. وقد نكون على عتبة حقبة جديدة سوف تنزل فيها الحواسيب الشخصية عن سطح المكتب لتمكّننا من رؤية وسمع ولمس وتداول أشياء في أمكنة لا نوجد فيها ماديا.

من الخيال العلمي إلى الواقع[*]

أشاع الكلمة "robot"، أي «إنسالة»، الكاتب المسرحي التشيكي Karel Capek، وذلك في عام 1921. إلا أن الناس تخيلوا صنع أدوات شبيهة بالإنسالات منذ آلاف السنين. ففي الأساطير اليونانية والرومانية، بنَت آلهة فنون المعادن[6] خدَما ميكانيكيين من الذهب. وفي القرن الميلادي الأول، صمَّم ‹هيرون الاسكندراني› [وهو المهندس العظيم الذي نُسب إليه اختراع أول محرك بخاري] آلات مدهشة، منها ما قيل عنه إنه يمتلك المقدرة على الكلام. وتُعدُّ لوحة ‹ليوناردو دافنشي› [التي رسمها في عام 1495 لفارس ميكانيكي يستطيع القيام وتحريك ذراعيه وساقيه] أول مخطط لإنسالة شبيهة بالإنسان.

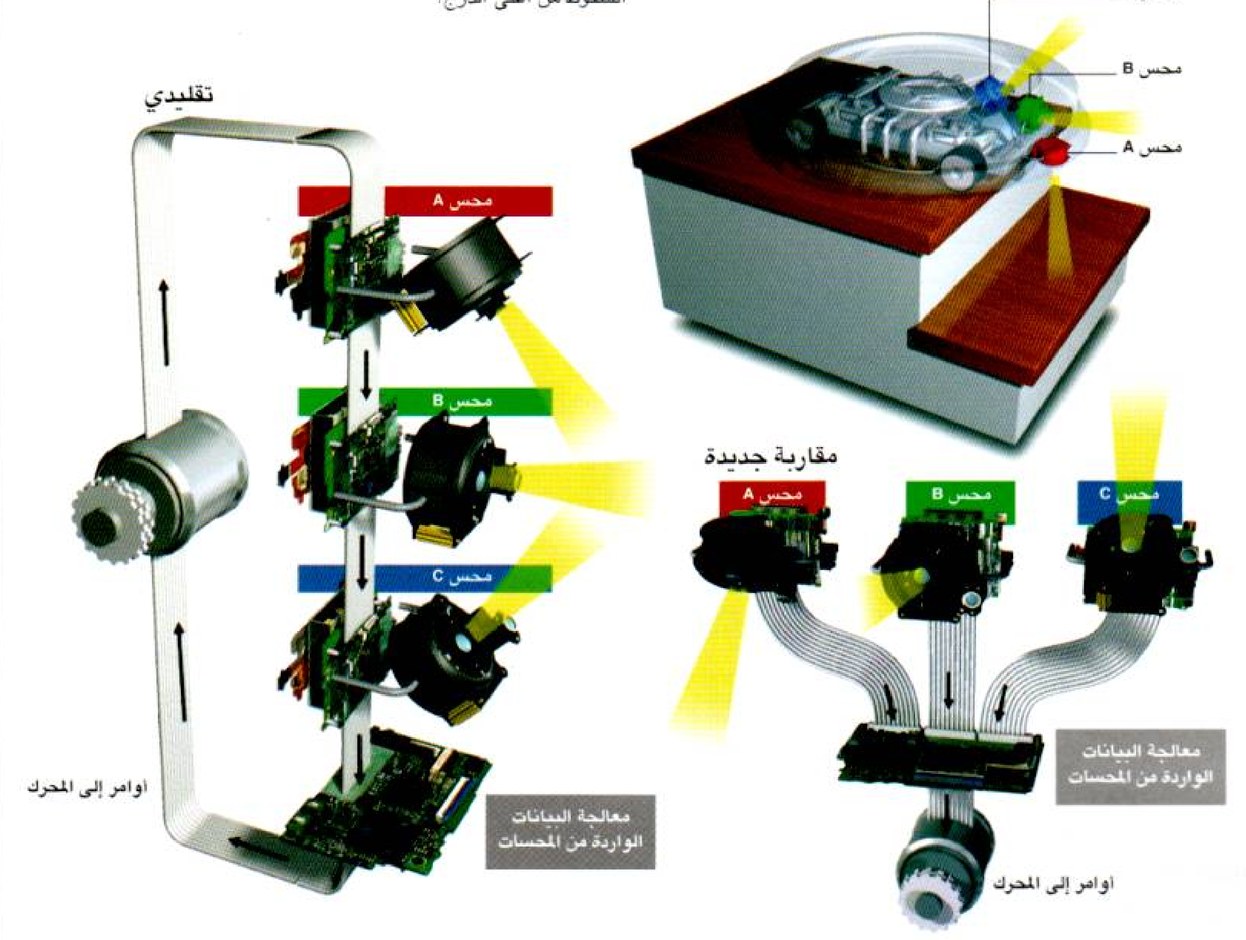
وفي القرن الماضي، غدت الآلات الشبيهة بالإنسان شخصيات مألوفة في الأدب الشعبي من خلال كتب مثل *I, Robot* «*أنا، إنسالة*» لـ‹I. أزيموف›، وأفلام من قبيل *Star Wars* «*حروب النجوم*»، ومسلسلات تلفازية من قبيل *Star Trek* «*الترحال بين النجوم*». وشيوع الإنسالات في القصص والروايات يشير إلى أن الناس أخذوا يتقبلون فكرة أن هذه الآلات سوف تمشي يوما

(*) From Science Fiction to Reality
(1) standardization
(2) robotics hardware
(3) programming code
(4) distributed computing
(5) broadband
(6) gods of metalwork


يمكن لربط الإنسالات المنزلية مع الحواسيب الشخصية أن يوفر كثيرا من الفوائد. فمثلا، يمكن لعامل في مكتب أن يسهر على أمن بيته وتنظيف أرضيته وطي غسيله ورعاية المرضى الطريحي الفراش بمراقبة شبكة من الإنسالات المنزلية من خلال حاسوبه الشخصي. إن هذه الآلات يمكن أن تتواصل لاسلكيا معا، ومع حاسوب البيت الشخصي أيضا.

البرمجة الفضلى تعني كبوات أقل(*)

يمكن لمعالجة البيانات الواردة من محسّات متعددة، من قبيل محسّات الأشعة تحت الحمراء المبينة على الإنسالة في *اليمين* مثلا، أن تواجه مأزقا. في النهج التقليدي (تحت)، يقرأ البرنامج أولا البيانات من جميع المحسّات، ثم يعالجها ويرسل الأوامر إلى محركات الإنسالة قبل ابتداء الحلقة مرة أخرى. لكن إذا كانت لدى المحس A (الأحمر) قراءات جديدة تشير إلى أن الآلة تقف على حافة أعلى الدرج، وكان البرنامج لا يزال يعالج بيانات المحس القديمة، فإن الإنسالة قد تسقط سقطة مريعة. والنهج الأفضل للتعامل مع معضلة التزامن هذه هو كتابة برنامج بمسارات بيانات منفصلة لكل محس (*أسفل اليمين*). وفي هذا التصميم، تُعالَج القراءات الجديدة فورا لتمكين الإنسالة من ضغط الكوابح قبل السقوط من أعلى الدرج.



بيننا كمساعدين وحتى كمرافقين. لكنْ، مع أن الإنسالات تؤدي دورا أساسيا في صناعات من قبيل صناعة السيارات، حيث يوجد نحو إنسالة واحدة مقابل كل عشرة عمال، فإن الحقيقة هي أن أمامنا طريقا طويلا قبل أن تضاهي الإنسالات الفعلية نظيراتها في روايات الخيال العلمي.

إن أحد أسباب هذه الفجوة هو أن جعل الحواسيب والإنسالات تتحسَّس البيئة المحيطة بها وتستجيب لها بسرعة ودقة، هو أمر أشد صعوبة من المتوقع. فقد ثبت أن من الصعب جدا تزويد الإنسالات بقدرات يعتبرها البشر أمورا مسلَّما بها ـ كالقدرة على توجيه أنفسهم بالنسبة إلى الأشياء المحيطة بهم، والاستجابة للأصوات واستيعاب الكلام، وإدراك الأشياء المختلفة في أحجامها وتراكيبها ومتانتها. حتى إن شيئا بسيطا كالتمييز بين باب مفتوح ونافذة يمكن أن يكون مربكا جدا للإنسالات.

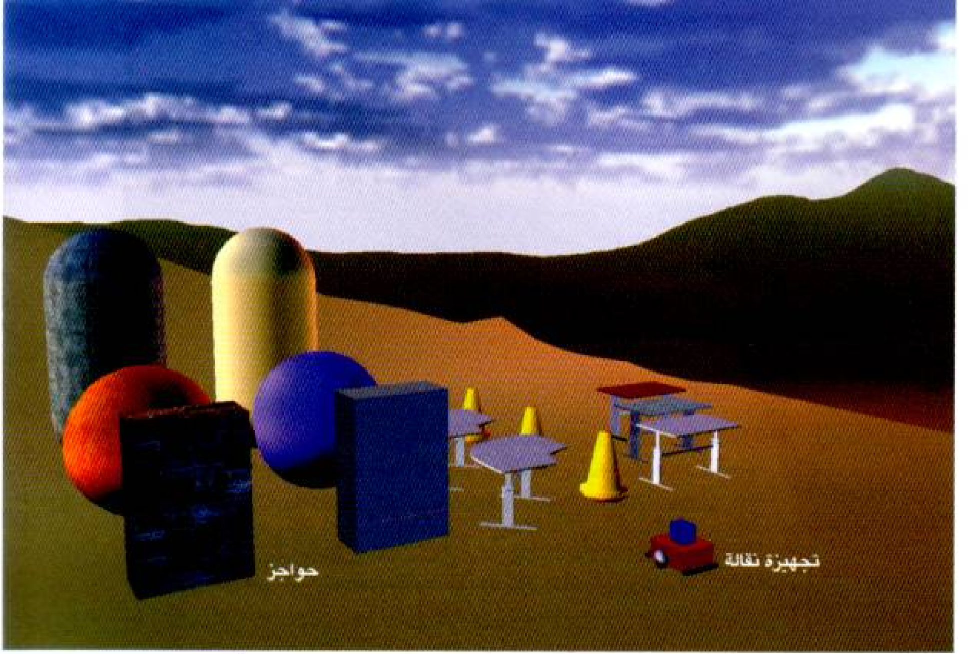
إلا أن الباحثين بدؤوا بإيجاد الحلول. وأحد الجوانب التي ساعدتهم على ذلك هو التوافر المتزايد لمقادير هائلة من الطاقة الحسابية. إن طاقة المعالجَة بمقدار 1 ميگاهرتز، التي كانت تكلِّف 7000 دولار في عام 1970، يمكن أن تُشترى الآن بسنتات فقط. وشهد ثمن 1 ميگابتة من الذاكرة انخفاضا مشابها. لقد مكَّن توافر الطاقة الحسابية الرخيصة العلماء من معالجة الكثير من المسائل الصعبة التي هي أساسية لجعل الإنسالات عملية. فاليوم، مثلا، تستطيع برامج تعرُّف الكلام تمييز الكلمات تمييزا جيدا، إلاّ أن المعضلة الكبرى هي بناء آلات تستطيع فهم مضمون تلك الكلمات. لكنْ مع استمرار الطاقة الحسابية بالازدياد، فإن مصمِّمي الإنسالات سوف يمتلكون طاقة المعالجة اللازمة للتصدي لمسائل ذات تعقيد أشد بكثير.

وثمة عائق آخر أمام تطوير الإنسالات هو التكلفة العالية للعتاديات، كالمحسَّات التي تمكِّن الإنسالة من تحديد بُعْد الشيء،

(*) BETTER PROGRAMMING MEANS FEWER TUMBLES

والمحركات والمخدِّمات الميكانيكية[1] التي تسمح للإنسالة، بتناول الشيء بقوة ورفق. لكن تلك التكلفة آخذة بالانخفاض بسرعة أيضا. فسعر قائس المسافة الليزري[2] الذي يُستخدم في الإنسالات لقياس المسافة قياسا دقيقا، كان 10 000 دولار قبل بضعة أعوام، أما اليوم فيمكن شراء القائس بنحو 2000 دولار. وثمة محسَّات جديدة ذات دقة عالية تقوم على رادار عرض مجاله فائق[3]، متوافرة حتى بأسعار أقل.

ويمكن الآن لبُناة الإنسالات أن يزوِّدوها، مقابل تكلفة مقبولة، بشيپات النظام العام لتحديد الموقع GPS، وبكمرات ڤيديوية، وبصفيفة من المكروفونات (التي هي أفضل من المكروفونات العادية في تمييز الصوت من الضجيج المحيطي)، وبمجموعة من المحسَّات الإضافية. إن تحسين القدرات الناتجة من ذلك، إضافة إلى طاقة الحساب وإمكانات التخزين المتزايدة، تسمح لإنسالات اليوم بفعل أشياء كتنظيف أرض الغرفة والمساعدة على تفكيك العبوات الناسفة، وهي أمور كانت مستحيلة بواسطة الآلات المنتَجة تجاريا قبل بضع سنوات.



تساعد السياقة الاختبارية الحاسوبية لتجهيزة نقالة، في بيئة افتراضية ثلاثية الأبعاد، بُناة الإنسالات على تحليل وضبط قدرات تصاميمهم قبل تجريبها. إن هذه الأداة، التي تمثل جزءا من مجموعة التطوير البرمجية «استديو مايكروسوفت الإنسالي»، تقوم بمحاكاة مفاعيل قوى كالثقالة والاحتكاك.

نهج أساسي(*)

في الشهر 2004/2 زرت عددا من الجامعات المرموقة، منها جامعة كارنيگي ملّن ومعهد ماساشوستس للتقانة MIT وجامعة هارڤرد وجامعة كورنلّ وجامعة إلّنويس، للتكلم عن الدور القوي الذي يمكن للحواسيب أن تؤديه في حل بعض أكثر مشكلات المجتمع إلحاحا. وكان هدفي مساعدة الطلبة على فهم الإثارة والأهمية الكامنتين في علم الحاسوب، وتحفيز بعضهم لاتخاذ مهنة في هذا المجال. وفي كل جامعة، بعد تقديم كلمتي، كانت تتاح لي فرصة إلقاء نظرة شخصية على بعض أهم مشاريع البحث في أقسام علم الحاسوب. وبلا استثناء تقريبا، رأيت مشروعا واحدا على الأقل ينخرط في الإنسالية.

وفي الوقت نفسه، كان زملائي في مايكروسوفت يسمعون أيضا أناسا في الهيئات الأكاديمية وفي شركات الإنسالية التجارية يتساءلون إنْ كانت شركتنا تقوم بأي عمل في الإنسالية يمكن أن يساعدهم على أعمالهم التطويرية. لم نكن نعمل في الموضوع، ولذا قررنا النظر في الأمر عن كثب. وطلبت إلى <تاندي ترور> - وهو عضو في مجموعتي الاستراتيجية ويمتلك خبرة 25 عاما لدى مايكروسوفت - القيام بمهمة استطلاعية موسعة والتحدث إلى العاملين في الإنسالية. وكان ما وجده حماسا عاما لما تتضمنه الإنسالية من إمكانات، إضافة إلى رغبة شاملة لدى الصناعة في أدوات يمكن أن تسهِّل أعمال التطوير. لقد كتب <تاندي> في تقريره عن مهمته الاستطلاعية الذي قدمه إليَّ: «يرى الكثيرون أن صناعة الإنسالية تشهد تحولا تقانيا أصبح فيه التوجه نحو البنيان[4] الحاسوبي أكثر قبولا». وتابع يقول: «وفق ما أشار إليه أخيرا <R. ويتَّكر> [قائد مجموعة كارنيگي ملّن في تحدي DARPA الأكبر] فإن معظم المكوِّنات العتادية متوفر، والمسألة الآن هي الحصول على البرمجيات الملائمة لها.»

في الأيام الأولى للحاسوب الشخصي، أدركنا أننا بحاجة إلى عنصر يمكن أن يجعل جميع الأعمال الطليعية تصل إلى الكتلة الحرجة لتندمج في صناعة حقيقية قادرة على إنتاج ما يُفيد فعلا على الصعيد التجاري. وتبين أن ما كنا نحتاج إليه هو لغة BASIC خاصة بمايكروسوفت. وحين ابتكرنا لغة البرمجة تلك في سبعينات القرن العشرين، وفرنا الأساس المشترك الذي مكَّن من تشغيل البرامج المكتوبة لمجموعة من العتاديات في عتاديات أخرى. وجعلَت اللغة BASIC أيضا برمجة الحاسوب أكثر سهولة، وهذا ما أدخل عددا أكبر من العاملين في هذه الصناعة. صحيحٌ أن كثيرين قد أسهموا إسهاما جوهريا في تطوير الحاسوب الشخصي، إلا أن لغة BASIC الخاصة بمايكروسوفت كانت أحد المسرِّعات الأساسية للإبداعات البرمجية والعتادية التي جعلت ثورة الحاسوب الشخصي ممكنة.

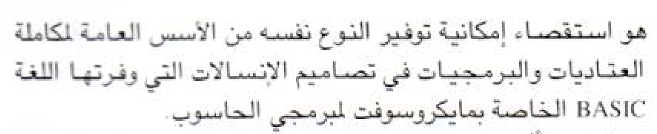
بعد قراءة تقرير <تاندي>، تبيَّن لي أنه قبل أن تحصل في صناعة الإنسالية القفزة الكمومية[5] نفسها التي حصلت في صناعة الحاسوب الشخصي قبل ثلاثين عاما، فإن على تلك الصناعة أيضا أن تبحث عن ذلك العنصر المفقود. لذا طلبت إليه تشكيل فريق صغير ليشترك مع العاملين في حقل الإنسالية لتطوير مجموعة من أدوات البرمجة التي يمكن أن توفر شبكة النقل الأساسية التي تمكِّن أي شخص يهتم بالإنسالات، حتى وإن كان لا يعرف عن برمجة الحاسوب إلا مبادئها الأولية، أن يكتب بسهولة تطبيقات إنسالية يمكن أن تعمل في أنواع مختلفة من العتاديات. وكان هدفي من ذلك

(*) A Basic Approach

(1) servo، وهو أداة تحريك لمكوِّنات الآلة

(2) radar range finders (3) ultrawideband radar (4) architecture

(5) quantum leap تُعبر عن التقدم الكبير المفاجئ. والقفزة الكمومية في الإلكترون هي انتقاله من مستوى طاقة إلى آخر قفزا، لا تدرجا. (التحرير)



هو استقصاء إمكانية توفير النوع نفسه من الأسس العامة لمكاملة العتاديات والبرمجيات في تصاميم الإنسالات التي وفرتها اللغة BASIC الخاصة بمايكروسوفت لمبرمجي الحاسوب.

لقد تمكّنت مجموعة تاندي الإنسالية من استخدام عدد من التقانات المتقدمة التي طورها فريق يعمل بقيادة <كريك موندي> [كبير موظفي البحث والاستراتيجية لدى مايكروسوفت]. إن إحدى تلك التقانات سوف تساعد على حل واحدة من أصعب المسائل التي تواجه مصممي الإنسالات، وهي كيفية التعامل في الوقت نفسه مع جميع البيانات الواردة من محسَّات عدة، وإرسال الأوامر المناسبة إلى محركات الإنسالة. تُعرف تلك المعضلة بالتزامن[1]. في مقاربة مألوفة، يُكتب عادة برنامج تقليدي وحيد الخيط[2]، أي إنه برنامج يتألف من حلقة طويلة تقوم أولا بقراءة البيانات من جميع المحسَّات ثم تعالجها وتعطي الأوامر التي تحدد سلوك الإنسالة، وذلك قبل ابتداء الحلقة مرة أخرى. إن عيوب هذا النهج واضحة: إذا كانت لدى إنسالتك بيانات جديدة تقول إنها موجودة على حافة منحدر شديد، لكن البرنامج مازال في أسفل الحلقة يحسب المسار ويعطي الأوامر إلى الدواليب للدوران اعتمادا على بيانات محس سابقة، فإن ثمة احتمالا كبيرا لسقوط الإنسالة قبل أن تتمكن من معالجة البيانات الجديدة.

لا تقتصر معضلة التزامن على الإنسالية وحدها. فاليوم، ومع ظهور المزيد من التطبيقات المكتوبة للشبكات الموزعة للحواسيب، يجهد المبرمجون لمعرفة كيفية التنسيق الفعال بين أجزاء برنامج يعمل في مخدِّمات مختلفة في وقت واحد. ومع استبدال الحواسيب الوحيدة المعالج لتحل محلها آلات ذات معالجات متعددة، ومعالجات «متعددة النوى»[3]، أي دارات متكاملة تحتوي معالجين أو أكثر يعملان معا لتحقيق سرعة أداء أعلى، سوف يحتاج مصممو البرمجيات إلى طريقة جديدة لبرمجة التطبيقات ونظم التشغيل. ولاستغلال طاقة المعالجات العاملة بالتوازي استغلالا تاما، يجب أن تتعامل البرمجيات الجديدة مع مشكلة التزامن.

إن إحدى المقاربات لمعالجة التزامن هي كتابة برامج متعددة الخيوط[4] تسمح للبيانات بالسير في مسارات كثيرة. لكن هذه المهمة هي إحدى أصعب المهام في البرمجة، وهذا ما يمكن أن يخبرك به أي مطور كتب برامج متعددة الخيوط. أما الحل الذي ابتكره فريق كريك لمشكلة التزامن فهو شيء يُسمى التزامن والتنسيق أثناء التنفيذ[5] (CCR)، وهو مكتبة إجرائيات، أي مكتبة برامج ذات مهام محددة تجعل من السهل كتابة تطبيقات متعددة الخيوط تستطيع التنسيق بين عدد من الأنشطة المتزامنة. وقد تبين أن مكتبة البرامج CCR، التي صُمِّمت لمساعدة المبرمجين على الاستفادة من طاقة النظم المتعددة النوى والمتعددة المعالجات، ملائمة للإنسالية أيضا. فباستخدام هذه المكتبة لكتابة البرامج الإنسالية، يستطيع مصمم الإنسالات تحقيق تقليص هائل في احتمال اصطدام إنسالة بحائط نتيجة انشغال برمجياته بإرسال أوامر إلى دواليبه بدلا من قراءة بيانات من محسَّاته.

إضافة إلى معالجة مشكلة التزامن، فإن العمل الذي قام به فريق <كريك> سوف يبسِّط أيضا تطبيقات الإنسالية الموزعة[6] من خلال تقانة تسمى خدمات البرمجيات اللامركزية[7] (DSS). تمكِّن الخدمات DSS المطورين من كتابة تطبيقات تعمل فيها الخدمات، أي أجزاء البرنامج التي تقرأ بيانات المحسات أو تتحكم في المحركات مثلا، باعتبارها سيرورات منفصلة يمكن التنسيق بينها بالطريقة نفسها تقريبا التي تُجمَّع بها النصوص والصور والمعلومات من مخدِّمات مختلفة في صفحة ويب Web. ونظرا إلى أن البرامج DSS تسمح للمكونات البرمجية بالعمل معزولة بعضا عن بعض، فإنه يمكن إيقاف مكون من مكونات الإنسالة، حين إخفاقها، وإعادة تشغيلها، أو حتى استبدالها، من دون الحاجة إلى إعادة إقلاع الآلة. إن هذا البنيان[8]، مع تقانة الاتصال اللاسلكي العريض المجال، يجعلان من السهل مراقبة الإنسالة وضبطها من موقع بعيد باستخدام **متصفح ويب** Web browser.

وأكثر من ذلك هو أنه ليس من الضروري وضع التطبيق القائم على الخدمات DSS، والذي يتحكم في آلة إنسالية، بكامله في الإنسالة نفسها، بل يمكن أن يكون موزعا على أكثر من واحد من الحواسيب. ونتيجة لذلك، يمكن للإنسالة أن تكون آلة رخيصة نسبيا تعْهَد بمهام المعالجة المعقدة إلى عتاديات تعمل بسرعة كبيرة موجودة في حواسيب اليوم الشخصية المنزلية. وأعتقد أن هذا التطور سوف يمهِّد السبيل أمام فئة جديدة كليا من الإنسالات التي هي أساسا تجهيزات طرفية لاسلكية نقالة[9] تستمد طاقتها الحسابية من حاسوب شخصي للتعامل مع مهام كثيفة المعالجة من قبيل الإدراك البصري وتحديد المسار. ونظرا إلى أنه يمكن ربط هذه التجهيزات معا باستخدام شبكة، فإنه يمكن أن نتوقع ظهور مجموعة من الإنسالات التي تستطيع العمل متناغمة لتحقيق أهداف من قبيل وضع خريطة لقاع البحر أو زراعة النباتات.

تُعدُّ هذه التقانات جزءا أساسيا من استوديو مايكروسوفت الإنسالي[10]، وهو مجموعة تطوير برمجية بناها فريق <تاندي>. يتضمن هذا الاستوديو الإنسالي أيضا أدوات تسهِّل بناء تطبيقات إنسالية باستخدام تنوع كبير من لغات البرمجة. ومن أمثلتها أداة محاكاة[11] تتيح لبُناة الإنسالات اختبار تطبيقاتهم في بيئة افتراضية ثلاثية الأبعاد، وذلك قبل تجريبها في عالم الواقع. إن هدفنا من هذا الإصدار هو إيجاد منصة مفتوحة تكلفتها مقبولة وتتيح بسهولة لمطوري الإنسالات مكاملة العتاديات والبرمجيات في تصاميمهم.

(١) concurrency
(٢) single-thread أو وحيد النَّيسب، أو وحيد التشعب.
(٣) multicore
(٤) multi-threaded أو متعددة النياسب أو متعددة التشعب.
(٥) concurrency and coordination runtime
(٦) distributed robotic
(٧) decentralized software services
(٨) أو الهيكلة.
(٩) wireless peripheral devices
(١٠) Microsoft Robotics Studio
(١١) simulating tool



ولادة صناعة: قدَّم مصنِّعو الإنسالات حتى الآن أنواعا مختلفة من الآلات المفيدة، لكن تصاميم تلك الآلات متباينة جدا. فستانلي Stanley (في الأعلى)، وهو سيارة ذاتية التحكم بناها فريق سباق ستانفورد، ربح تحدي DARPA الأكبر في عام 2005، حيث قطع أكثر من 130 ميلا في الصحراء دون مساعدة من سائق بشري. و iRobot، وهي شركة متمركزة في برلينكتون بماساتشوستس، تصنع Packbot EOD (الصفحة المقابلة) الذي يساعد على التخلص من القنابل في العراق، وتصنع Roomba (اليمين) الذي ينظف الأرضيات الخشبية والسجاد. و Lego Mindstorms (أقصى يمين هذه الصفحة)، وهي مجموعة أدوات لبناء الإنسالات وبرمجتها، غدت أكثر المنتجات بيعا في تاريخ شركة صناعة الدمى الدنماركية Lego Group.

هل علينا أن نسميها إنسالات؟(*)

هل ستصبح الإنسالات، قريبا، جزءا من حياتنا اليومية؟ وفقا للاتحاد الدولي للإنسالية(1)، كان في عام 2004 نحو مليوني إنسالة شخصية قيد الاستخدام في العالم، وسوف يجري بناء سبعة ملايين أخرى بحلول عام 2008. وتأمل وزارة المعلومات والاتصالات في كوريا الجنوبية بوضع إنسالة في كل بيت فيها بحلول عام 2013. وتتنبأ رابطة الإنسالات اليابانية بأن الاستثمارات العالمية في صناعة الإنسالات الشخصية سوف تبلغ، بحلول عام 2025، نحو 50 بليون دولار في السنة، في حين أنها تساوي نحو خمسة بلايين دولار حاليا.

وعلى غرار صناعة الحاسوب الشخصي في سبعينات القرن العشرين، فإن من المستحيل التنبؤ تماما بالتطبيقات التي سوف تحرك هذه الصناعة الجديدة. إلاّ أنه يبدو من المرجح أن الإنسالات سوف تؤدي دورا مهما في توفير المساعدة لكبار السن، وحتى مرافقتهم. وقد تساعد التجهيزات الإنسالية الناس المعاقين على التجول وتزيد من قوة وتحمُّل الجنود وعمال البناء والعاملين في المجال الطبي. وسوف تقوم الإنسالات بصيانة الآلات الصناعية الخطيرة، وتداول المواد السامة والمتفجرة، ومراقبة أنابيب النفط البعيدة. وسوف تمكِّن العاملين في الرعاية الصحية من تشخيص الأمراض ومعالجة المرضى الذين قد يبعدون آلاف الأميال، وسوف تكون عناصر أساسية في المنظومات الأمنية وعمليات البحث والإنقاذ.

صحيحٌ أن بضعة من إنسالات الغد قد تشابه الآلات الشبيهة بالبشر التي ظهرت في فلم حرب النجوم، إلا أن معظمها لن يكون كالشبيه البشري C-3PO(2). وفي الواقع، مع ازدياد شيوع التجهيزات الطرفية النقالة، قد تكون ثمة صعوبة متزايدة في تحديد تام لماهية الإنسالة. فنظرا إلى أن هذه الآلات الجديدة سوف تكون شديدة التخصص وواسعة الانتشار، وإلى أنها لن تبدو إلا قليلا شبيهة لآلات روايات الخيال العلمي الذاتية الحركة ذات الساقين، فإننا على الأرجح لن نسميها إنسالات. ومن ناحية أخرى، مع تطور هذه التجهيزات لتصبح تكاليفها مقبولة للمستهلك، فإنها يمكن أن تكون ذات أثر عميق في طرائق عملنا وتواصلنا وتعلُّمنا وتسلية أنفسنا، كذاك الذي كان للحاسوب الشخصي خلال الثلاثين سنة السابقة. ■

(*) Should We Call Them Robots?

(1) International Federation of Robotics

(2) الإنسالة الخيالية المطلية بالذهب التي ظهرت في فيلم حرب النجوم. (التحرير)

المؤلف

BILL GATES

أحد مؤسِّسي ورئيس الشركة مايكروسوفت، وهي كبرى شركة للبرمجيات. حينما كان في جامعة هارفرد في سبعينات القرن العشرين، طوَّر إصدارا من لغة البرمجة بيسك BASIC لأول حاسوب صغير، وهو الحاسوب MITS Altair. وترك الجامعة في السنة قبل الأخيرة ليكرِّس طاقاته لمايكروسوفت، الشركة التي أنشأها في عام 1975 مع رفيق طفولته Paul Allen. وفي عام 2000، أسَّس مع زوجته ميليندا مؤسسة بيلّ وميليندا كيتس Bill & Melinda Gates Foundation التي تهتم بتحسين الصحة وتقليص الفقر وزيادة إمكانات الحصول على التقانة المعلوماتية في شتى أنحاء العالم.

مراجع للاستزادة

More information about robotics in general is available at:

Center for Innovative Robotics: **www.cir.ri.cmu.edu**

DARPA Grand Challenge: **www.darpa.mil/grandchallenge/**

International Federation of Robotics: **www.ifr.org**

The Robotics Alliance Project: **www.robotics.nasa.gov**

Robotics Industries Association: **www.roboticsonline.com**

The Robotics Institute: **www.ri.cmu.edu**

The Tech Museum: Robotics: **www.thetech.org/robotics/**

Technical details and other information about Microsoft Robotics Studio can be found at **msdn.microsoft.com/robotics**

Scientific American, January 2007

التجوال في الغابات(*)

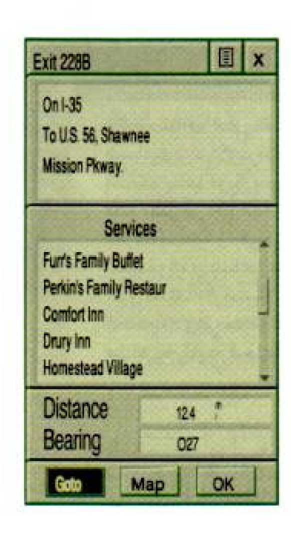
السواتل(1) تدلّ على الطريق في رياضة كشف المخبأ(2) الجديدة.

تهانيّ! فقد عثرتَ عليه! بقصد أم من غير قصد! لِمَ هذا الوعاء مخبأ هناك؟ ما هذه الأشياء المتراكمة هنا بحق السماء؟

فيما كنت واقفا على تلة بمحاذاة بحيرة جورج في نيويورك، رحت أتفحّص الرسالة المتروكة في وعاء پلاستيكي كنت قد عثرت عليه منذ لحظات ملقى على حرف صخري ناتئ. كانت الرسالة تشرح بعض القواعد المزعجة التي تستند إليها لعبة رياضية جديدة عالية التقنية تدعى رياضة كشف المخبأ. قرأت الرسالة بانفعال:

*«هذا الوعاء هو جزء من لعبة عالمية مكرّسة لمستخدمي **منظومة تحديد الموقع العالمية**(3) Global Positioning System (GPS) تتضمن هذه اللعبة أساسا «كنزا» ـ مخبأ ـ هو هذا الوعاء ومحتوياته، يخفيه أحد مستخدمي المنظومة GPS، وينشر إحداثياته الصحيحة ليتمكّن مستخدم آخر لهذه المنظومة، من متصيّدي الكنوز، العثور عليه. لعبة كشف المخبأ هي بدعة جديدة نسبيا، وقواعدها بسيطة للغاية:*

1. *خذ شيئا من المَخْبأ.*
2. *اترك شيئا في المخبأ.*
3. *اكتب ملحوظة في سجل التدوين.*







مُستقبِلات منظومة تحديد الموقع العالمية Global Positioning System (GPS) هي أجهزة ملاحية محمولة سهلة الاستعمال. يستطيع الجهاز eTrex Legend من الشركة Garmin International *(في اليسار)* والجهاز Sportrek Color من الشركة Magellan *(في الوسط)* رسم طريق رحلتك وتبيان المطاعم والفنادق والأمكنة المُشوّقة(4) الموجودة على طول الطريق.

قبل تجربتي مع لعبة كشف المخبأ، كنت أعتقد أن استعمال وحدات محمولة من المنظومة GPS يقتصر على الجوّالة في البراري وعلى العسكريين، غير أن اقتناء العامة لهذه الوحدات والأجهزة صار في السنوات الأخيرة أكثر يسرا. تتألف المنظومة GPS من 24 ساتلا وخمس محطات أرضية. فعند مدارات يبلغ ارتفاعها نحو 12 000 ميل من فوق سطح الأرض، ترسل السواتل إشارات راديوية ضعيفة القدرة على ترددات ضمن نطاق الترددات فوق العالية (UHF). وبقياس زمن انتشار الإشارات القادمة من أربعة سواتل على الأقل، يستطيع جهاز محمول مُستقبل (نظريا على الأقل) تحديد موضعه عن طريق **التثليث** triangulation أينما كان على سطح الكوكب.

وإلى عهد قريب كانت الإدارة الأمريكية تقوم **ببعثرة** scramble إشارات المنظومة GPS، حتى لا يتمكن إلا العسكريون من استقبال أكثر القراءات دقة. ولكن إدارة <كلينتون> أوقفت في الشهر 2000/5 بعثرة الإشارات متيحة بذلك لوحدات المنظومة GPS المدنية تحديد مواقعها بنسبة خطأ تراوح ما بين 20 و 40 قدما. وبعد ذلك بقليل، طرحت عدة شركات أجهزة استقبال رخيصة الثمن وسهلة التشغيل، وتشتمل على خرائط وشاشات مدمجة تعمل على غرار صفحة في شبكة الوِب Web. وفي الوقت نفسه تقريبا، نفذت إدارة الطيران الفدرالية منظومة تعزيز الملاحة الدولية (WAAS)(5)، وهي شبكة من المحطات الأرضية تعمل على تحسين دقة المنظومة GPS، عن طريق تصحيح أخطاء قياس الزمن والتغيرات في مدارات السواتل. وتستطيع الأجهزة المزودة بأفضلية المنظومة WAAS أن تحدد موضع المُستخدم بدقة تصل إلى تسع أقدام، شرط أن يكون الجهاز واقعا في خط البصر المباشر إلى السماء وألا يكون الجو غائما.

كنت مولعا منذ صباي في الفرقة الكشفية بالاستدلال على الدروب في الغابات، لذلك كانت سعادتي غامرة عندما أوحى صديق لي بفكرة لعبة كشف المخبأ. وفي أول محاولة لنا، اعتمدنا على الجهاز المحمول +GPS III، الذي تصنعه الشركة Garmin international. ومسترشدين بقراءات الجهاز، سلكنا ممرا صاعدا في هضبة وقفزنا فوق مجار مائية وسرنا في مرج أخضر تصل سوقه إلى صدورنا ونزلنا إلى وَهْد تنتثر فيه الأحجار. ونصيحتي إلى كل عاقل: لا تنظر أبدا إلى الأسفل نحو شاشة جهازك أثناء التجوال في الغابة. فقد دفعت

(*) A WALK IN THE WOODS

(1) satellite قمر صنعي.

(2) geocatching

(3) أو منظومة التموضع العالمية.

(4) attracions

(5) Wide Area Augmentation System (التحرير)

ثمن قلة انتباهي، ضربة قوية تلقيتها على رأسي من غصن متدل منخفض.

وبعد مسيرة شاقة مسافة 1.2 ميل، أَقْرَأَنا الجهاز أننا بلغنا الإحداثيتين الطولانية والعرضانية للخبيئة (ويسميان «إحداثيّتا» المَعْلَم[1] في لغة المنظومة GPS). وبسبب الغطاء الكثيف من الأشجار فقد كان خطأ موضعنا يقارب 45 قدما. فاضطررنا إلى البحث في كل صخرة وشجرة وجَوْبة في المنطقة مدة 20 دقيقة من دون أن نعثر على شيء؛ ثم ما لبثت أن انطلقت فجأة صيحة الفوز من <D. تايلور> [مرشدي في هذه اللعبة] وهو يشير بيده إلى حرف صخري. فقد كانت جائزتنا مخبأة تحت كومة من العيدان: وعاء پلاستيكي بعداد 4 بوصات (إنشات) و12 بوصة، كُتب على غطائه باللون الأسود "geocaching.com".

رفعنا الوعاء بكل عناية وفتحنا الغطاء، فوجدنا داخله حفنة من الأشياء البسيطة والطريفة: صافرة ومُصَوِّرة (كامرة) لاستعمال واحد[2] ومحْمَليّ مفاتيح ومصباح يدوي منمنم وشص سنارة، وما إلى ذلك ـ ومعها سجل تدوين وقلم. وبعد أن قرأت جميع الملاحظات التي سجلها اللاعبون الآخرون، وقّعت اسمي في السجل وأخذت شص السنارة من الوعاء، وبعملي هذا أكون قد انخرطت في اللعبة. أودعنا تذكارنا في الوعاء ـ عبارة عن دماغ من المطاط يحمل كلمة «ساينتفيك أمريكان»، والتقطنا صورة تذكارية لنا، مستخدمين المصوِّرة الوحيدة الاستعمال: ثم أعدنا الوعاء، وخبأناه في مكانه، وغطيناه بالأغصان والعيدان. نزلنا الجبل فرحين بالنصر الذي حققناه، يقودنا الجهاز إلى إحداثيات سبق أن أدخلناها لموقع سيارتنا.

وفي جولاتي اللاحقة، اختبرت أربعة أجهزة مختلفة من وحدات المنظومة GPS، من حيث دقتها وسهولة استعمالها. اخترت وحدتين من وحدات المبتدئين هما: Geko 201 من الشركة Garmin International (ثمنها 149 دولارا) و SporTark Map من الشركة Magellan (ثمنها 229 دولارا)، مع وحدتين أكثر تقدما هما: eTrex Venture من الشركة Garmin's (ثمنها 194 دولارا) و SporTark Color من الشركة Magellan's (ثمنها 499 دولارا). وتعرض كل واحدة من هذه الوحدات خريطة على شاشة مع مُوْصِلة رقمية ومتقفّي سواتل، يتيح لك معرفة عدد إشارات المنظومة GPS التي تستقبلها. وإدخال إحداثيات المعلم التي تدل على المكان الذي تقصده أمر سهل، بسهولة كتابة نص الرسالة على هاتف خلوي. وكل ما تحتاج إليه، لكي تحصل على معلومات عن أحد المواقع من سواتل المنظومة GPS، هو أن توجّه الوحدة نحو السماء. ومع الخبرة، يصبح تفسير الخرائط وفهم قراءات الموصلة أسهل فأسهل.

أثناء دخولي إلى الموقع www.geocaching.com، قمت بالبحث عن مخابئ قريبة من بيتي في الضاحية الشمالية من نيوجرسي. فعدّد لي الموقع ستة مخابئ في حدود أربعة أميال. حدّد كلا منها الشخص الذي أخفاها، كما أعطى إحداثيات موضع المخبأ. فاستعنت بواحد من محرّري *ساينتفيك أمريكان* ورحنا نفتش عن أقرب مخبأ بوساطة الأجهزة المحمولة الأربعة. وبعد أن أدخلنا إحداثيات المخبأ المنشود في كل جهاز، حددنا مسارا من منزلي إلى مكان المخبأ على الخريطة المعروضة على الشاشة. ثم تابعنا طريقنا سيرا على الأقدام في الاتجاه الذي تحدده الموصلة.



وجدتها! إحدى لاعبات رياضة كشف المخبأ تعثر على جائزتها، بإرشاد من وحدة المنظومة GPS، وهي علبة مملوءة بالأشياء البسيطة والطريفة وضعت داخل حطبة مجوّفة.

وأثناء سيرنا في مُتنزَّه مجاور، كانت الأجهزة «تُحدِّث» بشكل متواصل مسافتنا عن المخبأ. ومع أن جهازي الشركة Garmin يوفران عددا أقل من التحديثات مما يقدمه جهازا الشركة Magellan، فإنهما يقيسان المسافة بدقة أكبر. وللحصول على قراءات أكثر دقة لموضع المستخدم، يُفضل الوقوف بثبات مدة 10 ثوان إلى 15 ثانية في منطقة مكشوفة. وكان الخطأ المحتمل في هذه الرحلة يقارب 15 قدما فقط، لذلك لم يتطلب الأمر منا بعد بلوغ إحداثيات المخبأ إلا بضع دقائق من التفتيش للعثور على الكنز المخبأ.

على كل حال، فقد تعلمنا بسرعة أن الأجهزة لا تعمل جيدا في المدن المكتظة. فبإمكان إشارات المنظومة GPS اختراق السحب والزجاج والپلاستيك (اللدائن)، ولكن ناطحات السحاب تحجبها تماما. لذلك فإن أفضل دقة توصلنا إليها في وسط حي «مانهاتن» بلغت 150 قدما. ولكننا تمكّنا من العثور على قرص هيئة المساحة الوطنية الجيوديزية[3] إلى جانب المبنى الرئيسي للمكتبة العامة في نيويورك (فالأقراص النحاسية ـ التي يبلغ قطرها 3 بوصات، الموزّعة في أنحاء الولايات المتحدة ـ تسمح بالمسح الدقيق لأعمال الهندسة المدنية وعلوم رسم الخرائط).

بعد استكشاف دام شهرين، أصبحت متمرسا في رياضة كشف المخبأ، فقد حددت إلى الآن مواقع 96 مخبأ و27 قرص مَعْلَم في أربع ولايات هي نيويورك ونيوجرسي وپنسلڤانيا وكونكتيكت، وفي ثلاثة بلدان هي الولايات المتحدة وكندا وإنكلترا. وأفضّل الأجهزة المتقدمة على نظيراتها المبتدئة لتعدّد ميزاتها، فهي قادرة على اختزان أكثر من 100 مَعْلَم. وأفضّل بشكل خاص من بين الأجهزة التي اختبرتها، أغلاها ثمنا؛ لأنها تعرض الخرائط ملونة، أي Magellan (Sportrak Color). ولما كانت الطرق والأنهار معروضة بألوان مختلفة في هذه الوحدة، فإنني لم أكن أخشى قط قيادة السيارة في أي زقاق متعرج.

على الرغم من نشاطي المفرط، يلزمني عمل وجهد كبيران للعثور على الكنوز المتناثرة على كوكب الأرض. فحسب موقع geocaching في شبكة الوب، يوجد حاليا 477 76 مخبأ في 190 بلدا، كما يوجد 000 10 شخص تقريبا يسعون إلى الكشف عنها. ويضاف إليها 50 مخبأ جديدا وسطيا كل أسبوع، وهذا ما يناسب تطلعاتي. ■

(١) waypoints
(٢) disposable camera
(٣) National Geodetic Survey disk

المؤلف

Mark Clemans

مساعد المدير الفني لدى مجلة ساينتفيك أمريكان.

تصوير الجزيئات بالمسح الطبقي المحوسب[*]

إنتاج صور ثلاثية الأبعاد لمدارات الإلكترونات.

توصف الأجسام في العالم الكمومي[1] بواسطة الدوال الموجية[2]. فالإلكترونات الموجودة حول الجزيء مثلا تكون في **مدارات** orbitals موجية الشكل، وهذه أشكال متفشية تعين الخواص مثل طاقة الإلكترونات ونزوع الجزيء إلى الإسهام في مختلف التفاعلات الكيميائية. لكن المدارات كائنات زلِقة تتحدى، بسبب مبدأ الارتياب لهايزنبرك[3]، الجهود الروتينية المبذولة لتصويرها تصويرا كاملا ودقيقا. ولكن الباحثين في مجلس الأبحاث الوطني الكندي بأوتاوا حصلوا حاليا على مسح ثلاثي الأبعاد لمدار الإلكترون الخارجي حول جزيء النتروجين. و«سرعة الالتقاط» في طريقة التصوير كبيرة لدرجة تكفي لأن تمكّن يوما ما من أخذ مسوح لجزيئات وهي في منتصف تفاعلها الكيميائي.

وتستخدم المجموعة التي يرأسها <P. B. كوركم> و <D. M. فيلنوف> نبضة ليزرية لا تدوم سوى 30 فمتوثانية (3×10^{-14} ثانية). وخلال فترة النبضة الليزرية يهتز حقل الموجة الضوئية الكهربائي نحو عشر مرات. وكل اهتزازة تُبعد الإلكترون الخارجي لجزيء النتروجين عن الجزيء ثم تعيده إليه.

ومع أنه يبدو أن الأمر يعتمد على الليزر لكي «ينير»[4] الإلكترون، فالواقع أن الإلكترون في طريق عودته نحو الجزيء هو الذي يفعل فعل حزمة التصوير. وبصورة أدق، يقوم حقل الليزر بإبعاد وتقريب جزء من دالة الإلكترون الموجية. ويمكن النظر إلى هذا وكأن الإلكترون موجود في مكانين في الوقت ذاته، فهو يبقى في الغالب في مكانه في مداره الأصلي حول النتروجين، ولكنه جزئيا يندفع مبتعدا.

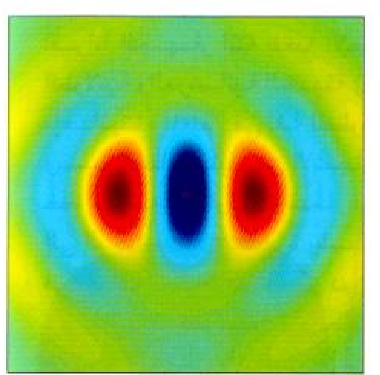
يحوّل التسارع الحاد الموجة الإلكترونية المرتحلة إلى موجة مستوية، مثل نبضة منتظمة جميلة لحزمة إلكترونية ذات طول موجي قصير إلى أقصى حد - وهو بالضبط نوع الحزم المفيد في التصوير. وحين تعود الموجة المستوية وتقاطع الجزيء فإنها تُحدث شكلا تداخليا مع الجزء المستقر من الدالة الموجية للإلكترون، مثل رتلين من الموجات يتقاطعان ويشكلان توزعا يشبه رقعة الشطرنج.

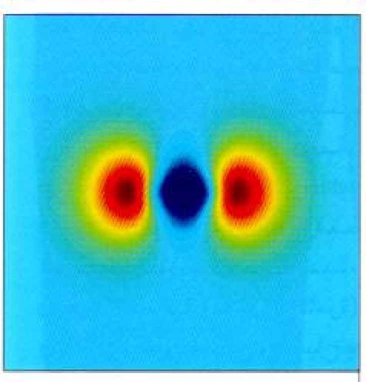
ولإكمال التصوير ينبغي كشف هذا الشكل التداخلي. فحين تسير الموجة المستوية فإن الشكل يهتز بسرعة، وهذا يجعله يُصدر إشعاعا فوق بنفسجي وهو الإشعاع الذي يرصده الباحثون. أما المعلومات عن ظل مدار الإلكترون كما تراه الموجة الإلكترونية المرتحلة فيُطبع على الانبعاث فوق البنفسجي، ويتطلب الحصول على صورة ثلاثية الأبعاد تكرار العملية بزوايا مختلفة، مثل الماسح الطبقي المحوسب في المستشفى. تضبط الزوايا بواسطة محاذاة جميع جزيئات النتروجين في العيّنة باستخدام نبضة ليزر أضعف قليلا قبل عدة بيكوثانية (10^{-12} ثانية) من وصول نبضة التصوير.

تتفق نتيجة التصوير اتفاقا جيدا جدا مع شكل مدار الإلكترون المحسوب[5] نظريا. يقول <F. كراوز> [من معهد ماكس پلانك للبصريات الكمومية بالقرب من ميونيخ]: «دهشت كثيرا حين رأيت صور المدارات الجزيئية التي تم الحصول عليها أول مرة. إن لهذه التقنية إمكانات كبيرة.» وكانت مجموعة <كراوز> قد أوضحت في أواخر عام 2003 نوعا آخر من التصوير باستخدام نبضات مدتها 250 أتوثانية (2.5×10^{-16} ثانية) من الضوء فوق البنفسجي المتطرّف، وهذه أقصر نبضات ضوئية تم الحصول عليها حتى الآن. فالطريقتان متكاملتان - ففي طريقة <كراوز> يسهم ديناميك الإلكترونات الداخلية، أما في طريقة <كوركم> و<فيلّنوف> فتسهم الإلكترونات الخارجية.

سيكون تطبيق التقنية على جزيئات أكثر تعقيدا أمرا مهما للغاية، وكذلك تطبيقه على جزيئات تكون خلال عملية انخراطها في تفاعل كيميائي. ويقول <فيلنوف> إنه يفكر في يوديد ثلاثي الفلوروميتيل[6] الذي يمكن تحطيمه بواسطة نبضات من ليزر المجموعة، ويضيف: «ومن ثم نستطيع متابعة التفكك وقياس حركة الذرات.» ■

<G. P. كولنز>





يتفق مدار الإلكترون في جزيء النتروجين كما صُوِّر *(في الأعلى)* اتفاقا جيدا إلى حدٍّ ما مع المدار المحسوب من نماذج نظرية *(في الأسفل)*. مقاس كل صورة هو 0.6 نانومتر في 0.6 نانومتر. وتمثل الألوان سعة الدالة الموجية الكمومية، ويرجح أن يكون الإلكترون موجودا في المواضع ذات اللون الأحمر والأزرق الغامق.

(*) CT SCAN FOR MOLECULES
(1) quantum world
(2) wave functions
(3) Heisenberg's uncertainty
(4) light up
(5) computed
(6) trifluoromethyl iodide

كاليفورنيا، ها نحن قادمون[*]

بعد انقضاء المسرحية الوثائقية حول **الاحترار العالمي** global warming بعنوان «**حقيقة مزعجة**» inconvenient truth وهي التي لاقت رواجا في صيف 2006، طرح السينمائيون قائمة تتضمن خطوات عملية يمكن لأي فرد أن يتخذها حيال هذه المشكلة البيئية المتفاقمة. ولعل أكثر الاقتراحات رواجا كان التالي: انتخِب الزعماء الذين يأخذون عهدا على أنفسهم بحل هذه المعضلة. اكتب إلى مجلس النواب، وإذا لم يصغوا إليك جاهد للوصول إلى مجلس النواب. إن الحكومة الفدرالية هي لسوء الحظ متأخرة وراء حكومات أمم أخرى في الجهود للسيطرة على غازات الاحترار المناخي[1]، ولهذا يأخذ رجال القانون حاليا زمام المبادرة. ففي الشهر 2006/8 أصدر المجلس التشريعي في كاليفورنيا مشروع قانون يدعو إلى تخفيض 25 في المئة من انبعاثات ثنائي أكسيد الكربون و**غازات الدفيئة** greenhouse gases الأخرى بحلول عام 2020. وعلى الرغم من تعهد ولايات أخرى بإجراء تخفيض مماثل، فإن كاليفورنيا هي أول من فرض حدود الانبعاثات. كذلك حظي الاقتراح بدعم كل من المجلس التشريعي ذي الأغلبية الديمقراطية وحاكم كاليفورنيا <A. شوارزنگر>.

لقد اعترضت غرفة التجارة في كاليفورنيا على هذا المشروع القانوني مدعية أنه لن يؤثر بشكل مهم في المناخ العالمي، نظرا لأن الصناعات الملوثة ستعيد ببساطة نقل نشاطاتها إلى خارج الولاية. لكن هذه الحجة تستند إلى فرضية خاطئة، نظرا لأن تخفيض غازات الدفيئة لا يكلف غاليا؛ إذ إن تحسين مردود الطاقة في مصنع أو مبنى تجاري يؤدي إلى انقاص استخدام الكربون، وفي الوقت نفسه إلى توفير في النفقات. لقد ساعدت التقنيات المتقدمة الحديثة على توليد الكهرباء من مصادر متجددة للطاقة **كتوربينات (عنفات) الرياح** wind turbines و**المنظومات الحرارية الشمسية** solar-thermal systems و**منشآت الحرارة الأرضية** geothermal facilities بشكل منافس اقتصاديا لإنتاج الطاقة من حرق الفحم أو الغاز الطبيعي. ولقد نأت شركة الباسفك للغاز والكهرباء بنفسها عن بقية الشركات حين دعمت حدود الانبعاثات. وهذه الشركة تنتج حاليا 12 في المئة من إجمالي إنتاجها من الكهرباء من مصادر متجددة (باستثناء المحطات الكهرمائية الكبرى)، كما تخطط لزيادة تلك الحصة إلى 20 في المئة بحلول عام 2010.

ولعل الفضل الأكبر لقانون كاليفورنيا هو تشجيع ولايات أخرى على اتخاذ إجراءاتها الخاصة حيال الاحترار العالمي. فقد اتفق سبعة من حكام الولايات الشمالية الأمريكية ضمن **المبادرة الإقليمية لغاز الدفيئة** Regional Greenhouse Gas Initiative (كونكتكت، ديلاوير، ماين، نيوهمبشاير، نيوجرسي، نيويورك، فرمونت) على تخفيض انبعاثات غاز الدفيئة بمقدار 10 في المئة بحلول عام 2019. كما أصدرت المجموعة حديثا قائمة بالقواعد النمطية الواجب اعتمادها من قبل المجالس التشريعية في الولايات أو **الوكالات المقوننة** regulatory agencies. وفي هذه الأثناء أقامت اثنتا عشرة ولاية مجتمعة دعوى قضائية فدرالية ضد **وكالة حماية البيئة** Environmental Protection مفادها أن **قانون الهواء النظيف** Clean Air Act يتطلب من الوكالة **ضبط** regulate غازات الدفيئة. ويتوقع أن تصدر المحكمة العليا الأمريكية حكمها بهذا الشأن في هذا العام (2007).



يجب على شركات الطاقة في كاليفورنيا الحد من انبعاثات غاز الدفيئة فيها.

ولكن المحاكم الفدرالية يمكنها إحباط جهود الولايات بدل مساندتها، فقد سنت كاليفورنيا عام 2002 قانونا يدعو إلى تخفيض 30 في المئة من انبعاثات غاز الدفيئة من السيارات والشاحنات المباعة في الولاية، وبعد سنتين أقامت النقابات التجارية التي تمثل صناعة السيارات دعوى قضائية ادعت فيها أن التعليمات الصادرة تتعارض مع القانون، لأنها تفرض تحسينا في اقتصاد الوقود، وهذا الأمر هو من صلاحيات الحكومة الفدرالية التي لها وحدها الحق بفرض مثل هذه الضوابط. إننا نأمل بكل حماس أن ترفض المحاكم هذه الحجة وأن تقر الحق الأساسي للولايات في حماية مواطنيها من النتائج الكارثية للاحترار العالمي. ■

ساينتفيك أمريكان

(*) CALIFORNIA, HERE WE COME

(1) climate-warming gases

اسألوا أهل الخبرة

كيف تختزن البطاريات[1] الكهرباء وكيف تفرغها؟[*]

***يجيب عن هذا السؤال** <K. بكّل> [الباحث الزائر لمركز دراسات التصنيع المتكامل في معهد روتشستر للتقانة]:*

عندما توصل بطارية عادية بحمل، مثل مصباح إضاءة، تخضع هذه البطارية لتفاعلات كيميائية تحرر إلكترونات، فتسير هذه الإلكترونات عبر المصباح، ومن ثم تعود إلى البطارية (توجد أيضا أجهزة تختزن طاقة ميكانيكية، غير أنّ أكثر البطاريات شيوعا ـ كتلك المستعملة في الأضواء الكشافة وأجهزة التحكم من بُعد ـ تحتفظ بالطاقة في شكلها الكيميائي). يوجد داخل البطارية خلية كلفانية[2] واحدة على الأقل، تعطي ما بين صفر وبضعة فلطات، بحسب كيميائيتها. ففي بطارية السيارة، تكون الخلايا الست التي يسهم كلٌّ منها بفلطين، مربوطة على التسلسل، فتكوّن بطارية ذات 12 فلط.

تتألف الخلايا الكهركيميائية جميعها من إلكترودين[3] تفصل بينهما مسافة محددة. ويكون الحيّز بين الإلكترودين مملوءا بكهرليت[4] سائل أو صلب، يحتوي جسيمات مشحونة (أو أيونات). يُصْدر أحد الإلكترودين ـ وهو الأنود[5] ـ إلكترونات سالبة الشحنة، ويتلقاها الآخر وهو الكاثود[6]. إنّ الاختلافات في الطبيعة الكيميائية بين الإلكترودين تؤدي إلى حدوث فرق في الطاقة (أو الكمون) يجعل الإلكترونات تتحرك من الأنود إلى الكاثود عبر الكهرليت. وعلى سبيل المثال، تستخدم خلية الرصاص الحامضية أكسيد الرصاص كاتودًا والرصاص أنودًا وحمض الكبريت (السائل) كهرليتًا. في هذه الحالة، يكوّن حمض الكبريت بيئة تمطّ الروابط الكيميائية للرصاص وأكسيد الرصاص، بحيث تحدث تفاعلات الأكسدة والإرجاع في الوقت نفسه. ففي تفاعل الإرجاع ينزع الحمض الأكسجينَ من كاتود أكسيد الرصاص ويُحلّ محله الكبريتات. وبعدئذ يتّحد أيون الأكسيد مع الهدروجين (من الحمض) ليكوّن الماء. أمّا عند الأكسدة فينزع حمض الكبريت الإلكترونين من الرصاص ويمسك بهما ليكوّن كبريتات الرصاص. وإذا ما وصلت البطارية بحمل كهربائي، فإنّ الإلكترونات، التي تستبدلها الكبريتات، تنتقل خارج الخلية عبر الحمل معطية تيارا كهربائيا.

يمكن أن تستمر الخلية الكلفانية بإعطاء إلكترونات حتى تنفد المواد الكيميائية (الوسيطية)، وهي المركبات التي تقود تفاعلات الأكسدة والإرجاع، من أحد الإلكترودين أو من كليهما. ففي البطارية غير القابلة لإعادة الشحن، يكون التفاعل الكيميائي الذي أعطى الطاقة غير عكوس[7] بسهولة، وعندما تنفد المادة الكيميائية من الخلية تصبح الخلية غير قابلة للاستخدام. أمّا في البطارية القابلة لإعادة الشحن، مثل خلية الرصاص الحامضية، فالتفاعل عكوس؛ أي إنّ منبعا خارجيا للتيار الكهربائي المستمر يمكن أن يجبر الإلكترونات على الجريان من الكاتود إلى الأنود إلى أن يُعاد شحن الخلية. ■

<D.> دودز

(*) How Do Batteries Store and Discharge Electricity?

(1) أو المُدّخِرات.

(2) galvanic cell

(3) electrodes أو مسريين.

(4) electrolyte أو إلكتروليت.

(5) anode أو المصعد.

(6) cathode أو المهبط.

(7) not reversible

(التحرير)

كيف يتمكن الهاكرز (قراصنة الحواسيب) من «ولوجها»؟[*]

***يجيب عن هذا السؤال** <H.C.J.J.> ريان> [الأستاذة المساعدة في جامعة جورج واشنطن][1]:*

ما يحدث فعلا هو أن القراصنة ينفذون إلى داخل نظام حاسوبي عن طريق استغلال مواطن الضعف الموجودة عمليا في برمجيات أو عتاديات كل نظام. وقبل الدخول في تفاصيل طرائقهم، لا بد من تعريف بعض المصطلحات الحاسوبية: فمصطلح «**هاكر**» (**العابث**) hacker مصطلح خلافي يستعمله بعضهم لوصف أولئك الذين تتجاوز اختراقاتهُم للنظم الحاسوبية حدودَ المعرفة من دون القصد والتعمد في إلحاق الضرر؛ في حين يسعى «**الكراكر**» (**المخترق**) cracker إلى إيقاع نوع من الأذى أو التخريب. وإنني شخصيا أفضّل استعمال تعبير «**المستخدم غير المخوّل**» unauthorized user (UU) لوصف كل من يلج النظم الحاسوبية ولوجا غير مشروع، علما بأن عملية «الولوج» تحتمل أحد ثلاثة معان: إما النفاذ إلى معلومات مخزّنة في حاسوب، وإما استعمال قدرات المعالجة في جهاز حاسوبي خلسة (لإرسال مادة دعائية مثلا)، وإما احتجاز معلومات وهي في طريقها (مرسلَة) بين منظومتين.

فكيف إذًا ينفذ مستخدمٌ غير مخول إلى الحاسوب؟ إن أيسر مواطن الضعف التي يمكن استغلالها كلمةُ مرور لم يُحسن اختيارها؛ إذ تستطيع برامج اختراق كلمات المرور تمييز مفردات وأسماء معجمية، وحتى عبارات شائعة، في غضون زمن قصير لا يتجاوز الدقائق. وكثير من هذه البرامج قادر على تنفيذ «هجوم معجمي»، وذلك بأخذ نظام التشفير الذي استعمله نظامُ كلمة المرور، وتشفير كل كلمة في المعجم؛ ثم يحاول هذا المستخدم اختبار الكلمات المشفرة إلى أن يقع على النظير المطابق لكلمة المرور: أما إذا كان للنظام كلمة مرور معقدة، فقد يحاول هذا المستخدم تنفيذ «حيلة تقنية»، وذلك بالاستفادة من المعرفة التقنية لاقتحام نظام حاسوبي (بدلا من الخيارات غير التقنية من قبيل سرقة وثائق خاصة بنظام ما). وهذه الطريقة تنطوي على صعوبة أكبر، إذ يتعين على المستخدم غير المخول أولا معرفة نوعية النظام المستهدف وإمكاناته. وبإمكانه، إذا كان خبيرا متمرسا، أن يفعل ذلك من بُعد بالاستعانة **ببروتوكول لنقل النصوص الترابطية** hypertext transfer protocol (http) للنفاذ إلى الوب web، حيث تدوِّن صفحات الوب عادة تطبيقَ المتصفح المستعمل، ومن ثم يستطيع العابث أن يكتب برنامجا يستغل هذا الإجراء، بل أن يجعل صفحة الوب تطلب مزيدا من المعلومات. وما إن تصبح هذه المعلومات في حوزته حتى يكتب برنامجا يتفادى وسائل الحماية الموجودة في النظام.

ومع أنه يتعذر عليك إزالة مواطن الضعف المحتملة جميعها، فإن بوسعك اتخاذ إجراءات وقاية من النفاذ غير المشروع: تيقن من استعمال أحدث الوصلات في نظام التشغيل والتطبيقات الخاصة بك؛ وأنشئ كلمة مرور معقدة تحتوي على مزيج من حروف وأرقام ورموز؛ وانظر في إمكان تركيب برنامج حماية خاص يعترض سبيل المنقولات غير المرغوبة الواردة من الإنترنت؛ واحرص كذلك على تجديد برمجياتك المضادة للفيروسات الحاسوبية، مع المراقبة المستمرة لدلائل ظهور فيروسات جديدة؛ وأخيرا احتفظ دائما بنسخة احتياطية عن بياناتك تمكنك من استرجاع المهم منها في الحالات الطارئة. ■

<D.> إكثوكا

(*) How do computer hackers "get inside" a computer?

(1) وشاركت في تأليف كتاب: Hackers, Crackers, Spies and Thievess



الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 23 - العدد 1
يناير (كانون الثاني) 2007

SCIENTIFIC AMERICAN
January 2007

تقرير خاص:

العصبونات المرآتية والتوحد

MIRROR NEURONS AND AUTISM

العدد 225 - السعر: 1.500 دينار كويتي



نمو متسارع للطاقة المتجددة



تأمين وقود لوسائل النقل المستقبلية



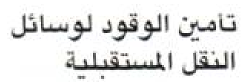
برمجيات خبيثة تغزو الهواتف الخلوية



الهندسة الهدروليكية في المكسيك ما قبل التاريخ

المقالات

ترجمة أو مراجعة



«**مجلة العلوم**» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**»، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت. وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«**مجلة العلوم**» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«**ساينتفيك أمريكان**» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ، غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «**ساينتفيك أمريكان**» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول

تأمين الوقود لوسائل النقل المستقبلية(*)

ما الخيارات المتاحة لتقليل الطلب على النفط ولتخفيض انبعاثات غاز الدفيئة(1) من السيارات والشاحنات الخفيفة(2)؟

<J. B.> هيوود

إذا توخينا الأمانة فإن معظمنا، في البلدان الغنية، سيعترف بحبّه نُظم وسائل النقل الحالية؛ ذلك أن هذه الوسائل تمكننا من التنقل وقتما نشاء ـ وعادة، من الباب إلى الباب ـ بشكل منفرد أو مع العائلة أو الأصدقاء ومع أمتعتنا أيضا. إن شبكة توزيع البضائع، غير المرئية غالبا، تقوم بنقل البضائع من مكان إلى آخر وتدعم نمط معيشتنا. وما دام الأمر كذلك، فما الداعي للقلق حول المستقبل وعلى وجه الخصوص حول كيفية تأثير الطاقة، التي هي القوة المحركة لوسائل النقل، في بيئتنا؟

تكمن الإجابة في حجم نظم وسائل النقل هذه ونموها الذي لا يمكن إيقافه. وهي تستخدم الوقود المشتق من النفط (البنزين والديزل) بمعدلات لا يمكن تخيلها. فعنصر الكربون في هذا الوقود يتأكسد ليتحول إلى ثنائي أكسيد الكربون ـ الذي هو من غازات الدفيئة ـ خلال سيرورة احتراق الوقود، وهذا يعني أن الاستخدام المكثف لذلك الوقود يؤدي إلى صعود كميات هائلة من غاز ثنائي أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي. وتسهم وسائل النقل في 25 في المئة من مجمل غازات الدفيئة المنبعثة في الغلاف الجوي على المستوى العالمي. ومع تنامي انتشار وسائل النقل في البلدان النامية، فإن الطلب العالمي المتزايد على الوقود سوف يجعل التحكم في تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي من أكبر التحديات التي تواجهنا. إن أسطول المركبات الخفيفة في الولايات المتحدة (السيارات، وشاحنات **البكب** pickup، والشاحنات الخفيفة) يستهلك 150 بليون كالون (550 بليون لتر) من البنزين سنويا، وهذا يعادل 1.3 كالون من البنزين يوميا للفرد. فإذا استهلكت الأمم الأخرى البنزين بالمعدل ذاته فإن الاستهلاك السنوي العالمي سيرتفع إلى عشرة أضعاف الاستهلاك الحالي تقريبا.

وعندما ننظر إلى المستقبل، فما الإمكانات المتاحة للاستمرار في الاستفادة من وسائل النقل بتكلفة مقبولة؟

نظرة إجمالية(**)

- **إن الاستخدام المكثف للوقود البترولي في النقل يطلق كميات هائلة من ثنائي أكسيد الكربون في الجو ـ نحو 25 في المئة من كمية هذا الغاز على المستوى العالمي.**
- **تتضمن الخيارات المتاحة للحد من هذه الانبعاثات أو خفضها تحسين تقانة المركبات وإنقاص حجمها وتطوير أنواع مختلفة من الوقود وتغيير طرق استخدام المركبات.**
- **على الأغلب، سنحتاج إلى اتباع كافة هذه الخيارات لنحقق النجاح.**

الخيارات المتاحة(***)

هناك العديد من الخيارات التي يمكن أن تُحدث تعديلا جوهريا. فمن الممكن تحسين تقانة المركبات أو تغييرها؛ ومن الممكن تغيير نمط استخدامنا للمركبات؛ ومن الممكن تقليل حجم المركبات؛ ومن الممكن استخدام أنواع أخرى من الوقود. ومن الأرجح أنه سيتعين علينا تطبيق هذه الخيارات جميعها لتقليل استهلاكنا للطاقة تقليلا جذريا وتقليل انبعاثات غاز الدفيئة.

وعند تفحص هذه الخيارات ينبغي أن نأخذ بالاعتبار عوامل عديدة تتعلق بنظام النقل الحالي. فنظام النقل هذا يتلاءم مع سياق استخدامه الأولي، أي العالم المتطور. فخلال عقود من الاستخدام كان لهذا النظام متسع من الوقت ليتطور على نحو يحصل فيه توازن بين التكلفة الاقتصادية واحتياجات المستخدمين ورغباتهم. والأمر الثاني الذي ينبغي أخذه بالاعتبار هو أن هذا النظام الضخم الفعّال يستند كليا إلى مصدر طاقة ملائم هو البترول، وهذا أدى إلى تطوير أنواع من التقانة ـ محرك الاحتراق الداخلي على الأرض والمحركات النفاثة (التوربينات الغازية) في الجو ـ تلائم عمل المركبات مع هذا الوقود السائل الغني بالطاقة. والأمر الأخير الذي ينبغي أخذه بالاعتبار هو أن المركبات تستمر في العمل فترة زمنية طويلة. ولذلك فإن التغيير السريع سيكون ذا صعوبة مزدوجة، وسوف يستغرق الحد من التأثيرات المحلية والعالمية لاستخدام الطاقة في وسائل النقل ومن ثم تقليلها عقودا قادمة.

أيضا نحتاج إلى أن نتذكر أن معايير الكفاءة قد تكون مضللة، فالمهم هو مقدار الاستهلاك الفعلي للوقود خلال السياقة(3) الفعلية. فكفاءة محرك الاشتعال بالشرارة الحالي الذي يعتمد البنزين وقودا، تقرب من 20 في المئة عند السياقة داخل المدن، وفي أفضل ظروف التشغيل تبلغ الكفاءة نحو 35 في المئة. ولكن في الكثير من الرحلات القصيرة عندما يكون المحرك باردا ويكون الطقس باردا، إضافة إلى ظروف سياقة قاسية، يزداد استهلاك الوقود ازديادا محسوسا. وكذلك إن بقاء المحرك مشتغلا فيما العربة متوقفة زمنا طويلا والفقد الحاصل في جهاز نقل الحركة يؤثران في ازدياد الاستهلاك. فهذه الظروف الواقعية تنقص كفاءة المحرك الوسطية، بحيث لا يتم

(*) FUELING OUR TRANSPORTATION FUTURE
(**) Overview
(***) Ore Options
(1) greenhouse gas emissions
(2) light trucks
(3) أو السُّوْق: قيادة مَركبة.

تحويل سوى نحو 10 في المئة من الطاقة الكيميائية الكامنة في الوقود إلى طاقة حركة للمركبة. وقد عبر <A. لوفينز> [وهو من أكبر دعاة استخدام المركبات الصغيرة ذات الكفاءة الأكبر] عن هذه الحقيقة بالصورة الآتية: «إذا كانت كفاءة المركبة 10 في المئة وإذا أخذنا بالاعتبار وزن السائق إضافة إلى وزن راكب واحد وبعض الأمتعة، وهذا يعادل حمولة صافية تبلغ نحو 135 كيلوغرام (300 باوند) - أي نحو 10 في المئة من وزن المركبة - فإن 1 في المئة فقط من طاقة الوقود الموجود في صهريج العربة هو الذي يحرك هذه الحمولة.»



سيارة مقترحة من الشركة فولكسفاكن صُممت لتحمل راكبين داخل المدن والضواحي. تزن هذه السيارة 290 كغ (460 باوند) وتقطع 240 ميل بكل كالون، وهي موجودة كنموذج أولي فقط.

وينبغي لنا أن نأخذ في حسابنا تكلفة إنتاج الوقود وتوزيعه، وتكلفة استخدام المركبة خلال عمرها الافتراضي الذي هو نحو 240 000 كم (150 000 ميل)، إضافة إلى تكلفة صنع المركبة وصيانتها والتخلص منها. وعادة ما تسمى هذه الأطوار الثلاثة المتعلقة بتشغيل المركبة: طور من بئر النفط إلى خزان الوقود[1]، وطور من الخزان إلى العجلات[2]، وأخيرا طور من المهد إلى اللحد[3]. ويسهم الطور الأول بنحو 15 في المئة من الفترة الكلية لاستخدام الطاقة وانبعاثات غاز الدفيئة، في حين يسهم الطور الثاني بنحو 75 في المئة من ذلك، ويسهم الطور الثالث بنحو 10 في المئة. ومن المدهش أن الطاقة اللازمة لإنتاج الوقود ولتصنيع المركبة ليست كميةً مهملة. وحسابات الدورة الكاملة هذه تكتسب أهمية، وبخاصة عند أخذنا بالاعتبار استخدام أنواع من الوقود لا تعتمد على البترول وأنواع جديدة من تقانة المركبات. فما يستفاد منه وما ينبعث *بهذا المعنى الإجمالي* هو المهم.

إن تحسين تقانة المركبات الخفيفة الموجودة حاليا يستطيع عمل الكثير: ذلك أن استثمار قدر أكبر من المال - بهدف زيادة كفاءة المحرك وآلية نقل الحركة وإنقاص الوزن وتحسين الإطارات وتقليل مقاومة الهواء - يمكن أن يؤدي إلى إنقاص استهلاك الوقود بمقدار الثلث تقريبا خلال السنوات العشرين القادمة أو نحو ذلك - تحسين بمعدل 1 إلى 2 في المئة سنويا. (وهذا الإنقاص سيكلف ما بين 500 و 1000 دولار لكل مركبة؛ وهذا المبلغ لن يزيد في تكلفة المركبة خلال سني عملها بحساب الأسعار المستقبلية للوقود). وأنماط التحسينات هذه كانت تُجرى على مدى السنوات الخمس والعشرين الماضية بصورة دائمة، لكننا كنا نشتري سيارات وشاحنات صغيرة أكبر وأثقل وأسرع فألغينا بذلك الفوائد التي كان بإمكاننا تحقيقها بوساطة هذه التحسينات. ومع أن التحول إلى السيارات الأكبر والأقوى أكثر ظهورا في الولايات المتحدة، فقد حدث أيضا في أمكنة أخرى من العالم. إننا نحتاج إلى طرائق تحفز المشترين على استخدام الإمكانات المتاحة لتقليل استهلاك الوقود وتقليل انبعاثات غاز الدفيئة لتوفير الوقود والحد من التلوث.

وفي المدى القريب، إذا تم إنقاص وزن المركبات وحجمها وإذا ما قام المشترون والمصنّعون بتخطي الرغبة في زيادة قدرة المركبات وأدائها باستمرار، عندئذ ربما أمكننا، في البلدان المتطورة، إبطاء معدل الطلب على البترول، ثم جعله يتوقف عند 20 في المئة أعلى من معدله الحالي في مدى يراوح بين 15 و 20 سنة، إذ يبدأ هذا المعدل بالتناقص بعد ذلك. ولا يبدو هذا التوقع جسورا بالدرجة الكافية، بيد أنه تحد يواجهنا ويختلف تماما عن مسارنا الحالي الذي يتضمن نموا مستقرا في استهلاك الوقود بمعدل 2 في المئة سنويا تقريبا.

الاستهلاك اليومي للبترول في العالم(*)

حاليًا، يستهلك الناس 80 مليون برميل يوميا [MBD] ويذهب ثلثا هذه الكمية لوسائل النقل.

53	29	19	5
مليون برميل يوميا لإجمالي النقل	مليون برميل يوميا للنقل البري (نقل الناس)	مليون برميل يوميا للشحن البري (نقل البضائع)	ملايين برميل يوميا لنقل الناس والبضائع جوا

أما على المدى الطويل فلدينا بدائل أخرى: إذ نستطيع تطوير أنواع من الوقود تحل جزئيا محل البترول. ونستطيع أن نتحول إلى أنظمة دفع جديدة تستخدم الهدروجين أو الكهرباء. ونستطيع المضي أبعد من ذلك بتصميم مركبات أصغر وأخف من تلك المستخدمة حاليا مع التشجيع على قبولها.

وقد يكون من الصعوبة بمكان تحقيق خيار الوقود البديل ما لم يكن هذا الوقود منسجما مع نظام التوزيع القائم حاليا. وكذلك فإن الوقود المستخدم حاليا هو سائل ذو كثافة عالية من الطاقة[4]؛ ومن ثم فإن اللجوء إلى وقود ذي كثافة أقل من الطاقة يستلزم استخدام خزانات وقود أكبر أو الاكتفاء بمدى أقل للمسافة القصوى التي

(*) Daily Use of Petroleum Worldwide
(1) well-to-tank
(2) tank-to-wheels
(3) cradle-to-grave
(4) high-energy density

المقاييس الزمنية للتقانات الجديدة(*)

من الممكن للتصاميم الجديدة للمركبات أن تؤدي، في نهاية المطاف، إلى تخفيض استهلاك الطاقة في وسائل النقل في الولايات المتحدة، ولكن ذلك لن يقدم حلا سريعا. وتبين التقديرات أدناه، والمقتبسة من مختبر المعهد MIT للطاقة والبيئة، الفترات الزمنية اللازمة لكي يكون للتقانات الجديدة أثر ملموس.

تقانة المركبات	طور التنفيذ			
	مركبات منافسة في السوق	احتراق عبر إنتاج مركبة جديدة*	احتراق أسطول رئيسي■	الزمن الكلي للتأثير
محرك شاحن توربيني يعمل بالبنزين	5 سنوات	10 سنوات	10 سنوات	20 سنة
محرك ديزل بتلوث قليل	5 سنوات	15 سنة	10-15 سنة	30 سنة
هجينة مع البنزين	5 سنوات	20 سنة	10-15 سنة	35 سنة
هجينة تعتمد خلايا الوقود الهدروجيني	15 سنة	25 سنة	20 سنة	55 سنة

* أكثر من ثلث إنتاج المركبة الجديدة. ■ أكثر من ثلث المسافات المقطوعة.

تقطعها المركبة من المسافة الحالية التي تبلغ نحو 400 ميل. وضمن هذا المنظور فإن البديل الذي يبرز جليا هو البترول غير التقليدي (الرمل البترولي[1]، النفط الثقيل، الزيت الحجري[2]، الفحم الحجري). بيد أن معالجة هذه الموارد لإنتاج «الزيت»[3] تتطلب كميات كبيرة من أشكال أخرى من الطاقة، مثل الغاز الطبيعي والكهرباء. لذلك فإن سيرورات المعالجة هذه تبعث كميات ملموسة من غازات الدفيئة وتؤدي إلى تأثيرات بيئية أخرى. إضافة إلى ذلك فإن هذه السيرورات تستلزم توظيف رؤوس أموال كبيرة. ومع ذلك فقد بدأ الاستثمار الفعلي لمصادر البترول غير التقليدية، رغم العواقب البيئية الواسعة المترتبة عليها. ومن المتوقع أن تلبي هذه المصادر نحو 10 في المئة من وقود النقل خلال السنوات العشرين المقبلة.

إضافةً إلى ذلك فقد بدأ إنتاج أنواع من الوقود المستخرج من الكتلة البيولوجية (مثل الإيثانول والديزل البيولوجي)، والتي تعد بانبعاث كميات أقل من ثنائي أكسيد الكربون لكل وحدة طاقة. ففي البرازيل يشكل الإيثانول المصنوع من قصب السكر ما يقرب من 40 في المئة من وقود النقل. وفي الولايات المتحدة الأمريكية يتم تحويل نحو 20 في المئة من محصول الذرة إلى إيثانول. ويخلط معظم هذا الإيثانول بالبنزين بنسبة تعادل 10 في المئة للحصول على ما يسمى البنزين المعاد تشكيله[4] (الأنظف في الاحتراق). وتهدف السياسة الحديثة للطاقة الوطنية في الولايات المتحدة الأمريكية إلى مضاعفة إنتاج الإيثانول المستخدم في الوقود، والذي يبلغ حاليا 2 في المئة، بحلول عام 2012. إلا أنه من الضروري أن يتم تخفيض كميات السماد والمياه والغاز الطبيعي والكهرباء المستخدمة في إنتاج الإيثانول من الذرة تخفيضا كبيرا. ويبدو أن استثمار الطاقة البيولوجية السليلوزية (بقايا النباتات ونفاياتها غير المستخدمة كمصادر غذائية) أكثر كفاءة وأقل تلويثا للبيئة من جهة انبعاثات غاز الدفيئة. ومع أن ذلك ليس أمرا مربحا تجاريا، فمن الممكن أن يصبح كذلك قريبا. أما الديزل البيولوجي فيمكن إنتاجه من محاصيل متعددة (مثل بذر اللفت وعباد الشمس وزيت فول الصويا) ومن الدهون الحيوانية المستهلكة. وحاليا يُجرى خلط الكميات القليلة الناتجة بالديزل العادي[5].

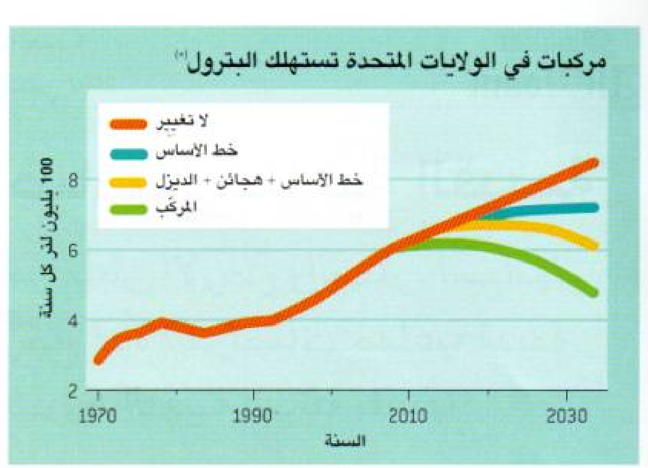
ومن المحتمل أن يتنامى استخدام الوقود المستخلص من الكتلة البيولوجية بشكل مطرد. بيد أنه نتيجةً للتأثيرات غير الأكيدة لهذا الأمر في البيئة، المصاحبة لتحويل محاصيل الكتلة البيولوجية إلى وقود بكميات كبيرة (التأثيرات في نوعية التربة وفي مصادر المياه وانبعاثات غاز الدفيئة)، فإن هذا النوع سيسهم - ولكنه من غير المحتمل أن يسود - كمصدر وقود مستقبلي في الزمن القريب.

ويتفاوت استخدام الغاز الطبيعي وقودا لوسائل النقل في مختلف أرجاء العالم، حيث يراوح من أقل من 1 في المئة إلى ما بين 10 و 15 في المئة في بلدان قليلة، إذ تجعل السياسة الضريبية ذلك أمرا مجديا اقتصاديا. ففي تسعينيات القرن العشرين، أدى استخدام الغاز الطبيعي وقودا لحافلات مدن الولايات المتحدة الأمريكية إلى تقليل الانبعاث الغازي، ومع ذلك فإن استخدام الديزل - مصحوبا بوسائل تنظيف العادم - هو بديل أرخص.

وماذا عن تقانة منظومات الدفع الجديدة؟ من المحتمل أن تتضمن الابتكارات محركات تعمل بالبنزين مطورة بشكل كبير (مثل استخدام شاحن توربيني ذي حقن مباشر للوقود)، وكفاءة أكبر لنقل الحركة، واستخدام ديزل ذي انبعاث منخفض مع حفازات ومصايد حبيبات في العادم؛ وربما تضمن الأمر أيضا مقاربات جديدة لكيفية احتراق الوقود. وحاليا تستخدم سيارات هجينة (مهجنة) تجمع بين محرك بنزين صغير ومحرك كهربائي تشغله بطارية (مدخرة)، وإنتاج مثل هذه السيارات في نمو. وتستهلك هذه المركبات كميات أقل من البنزين في السياقة داخل المدن، ولها جدوى أقل في السياقة على الطرق السريعة، وتكلفة شراء الواحدة منها تزيد على تكلفة السيارات المعتادة بضعة آلاف من الدولارات.

ويستكشف الباحثون أنظمة دفع وأنواع وقود مختلفة بصورة جذرية، وعلى وجه الخصوص تلك التي لها إمكانية كامنة أكبر في تقليل انبعاثات غاز ثنائي أكسيد الكربون على مدى دورة حياته[6]. فهناك العديد من المنظمات التي تعمل على تطوير مركبات تعتمد على خلايا الوقود الهدروجيني بطريقة هجينة مع بطارية ومحرك كهربائي. ومن الممكن لهذه النُظم أن تزيد كفاءة المركبة إلى الضعف، إلا أن هذه الزيادة تكون على حساب كمية الطاقة المستنفدة وعلى حساب انبعاثات الغاز خلال سيرورة إنتاج الهدروجين وتوزيعه. فإذا أمكن إنتاج الهدروجين بسيرورات تتضمن انبعاثات قليلة للغاز الكربوني وإذا أمكن ابتكار نظام عملي لتوزيع الهدروجين، كان لهذا المصدر موقع مهم كوقود ذي انبعاثات منخفضة غاز الدفيئة. ولكن

(*) Timescales for new Technologies
(1) tar sands
(2) oil shale
(3) oil
(4) reformulated gasoline
(5) standard diesel
(6) life cycle



أربعة سيناريوهات حول استهلاك البترول خلال الربع التالي من هذا القرن. «لا تغيير»: يفترض ثبات استهلاك الوقود لكل مركبة وبقاءه كما هو بمستوى استهلاك عام 2008. «خط الأساس» baseline: يتضمن إضافة تحسينات جذرية في التقانة؛ في حين أن «خط الأساس + هجائن hybrids + الديزل» يفترض الإضافة التدريجية للمركبات الهجينة (بنزين-كهرباء) ومركبات الديزل لأساطيل النقل؛ ويضيف «المركَّب» composite إلى المزيج السابق تخفيض تزايد بيع المركبات وتخفيض معدل المسافات المقطوعة بالسياقة.

تلزم اختراقات تقانية كبيرة وعقود عديدة قبل أن يصبح النقل المعتمد على الهدروجين واقعا ويكون له تأثير واسع الانتشار.

وبطبيعة الحال، فإن الهدروجين حاملٌ للطاقة وليس مصدرا لها. والكهرباء حامل للطاقة بديل، يمكنها توليد الطاقة من دون إطلاق ثنائي أكسيد الكربون، وهذا حدا بفرق بحثٍ عديدة للعمل على استخدامها في وسائل النقل. إن التحدي الرئيسي يكمن في قدرة بطارية على خزن طاقة كافية لمدى سياقة معقول وبتكلفة مقبولة. ومن العوائق التقنية أيضا الزمن الطويل اللازم لشحن البطارية؛ إذ سيكون على من كان معتادا على ملء خزان وقود سيارته بسعة 20 گالون خلال أربع دقائق أن ينتظر عدة ساعات لشحن البطارية. وإحدى الطرائق لتجاوز القصور في المُدى للسيارات الكهربائية هو السيارات الهجينة التي توصل بمقبس (مأخذ) الكهرباء، والتي تتضمن محركا صغيرا لشحن البطارية وقت اللزوم. وعندئذ تكون الطاقة المستنفدة في أغلبها كهربائية وجزءًا منها فقط من وقود المحرك. وحتى الآن، نحن لا نعلم فيما إذا كان هذا النوع من التقنية الهجينة سيبرهن على جاذبيته الواسعة في السوق.

وما عدا تبني أنظمة دفع مطوَّرة، فقد يؤدي التحول إلى مواد أخف وبنى للسيارات مختلفة إلى تقليل وزن المركبة وتحسين استهلاك الوقود من دون إنقاص حجم المركبة. ومن الواضح أن الجمع بين استخدام مواد أخف وتقليص حجم المركبات يؤدي إلى تأثيرٍ إيجابيٍ أعظم. ومن الممكن أن تتغير طريقة استخدامنا للمركبات في المستقبل تغييرا جذريا عن طريقتنا في «السيارة ذات الأغراض العامة». فمثلا شركة فولكسفاگن لديها نموذج لسيارة صغيرة لراكبين تزن 290 كغ (460 پاوند) وتستهلك لتر بنزين لكل 100 كم (نحو 240 ميل لكل گالون) ـ في حين أن المركبات الصغيرة المتوافرة حاليا في الولايات المتحدة الأمريكية تستهلك وسطيا 10 لترات لكل 100 كم (أي أقل بقليل من 25 ميل لكل گالون). ويرى البعض أن تقليص حجم المركبة يقلل مستلزمات السلامة، ولكن من الممكن لهذا الأمر أن يعالج.

ترويج التغيير(**)

مما لا شك فيه أن التقانة الأفضل تؤدي إلى تحسين كفاءة استهلاك الوقود، حتى إن السوق في العالم المتقدم يمكن أن تتبنى ما يكفي من هذه التحسينات لكي توازن الزيادات المتوقعة في عدد المركبات. وكذلك فإن الزيادة المتوقعة وشبه الأكيدة في أسعار البنزين خلال العقد القادم وما بعده ستؤدي إلى تغيير في طريقة شراء المستهلكين للمركبات وطريقة استخدامها. ولكن من غير المحتمل لقوى السوق وحدها أن تكبح جماح شهيتنا المتزايدة دائما للبترول.

فمن الضروري وضع مجموعة متسقة من السياسات التنظيمية والضريبية في حيز التنفيذ حتى تتحقق مزايا تخفيض استخدام الوقود الناجمة عن هذه التطويرات المستقبلية. ومن الممكن أن تتضمن السياسات الفعالة حوافز ضريبية، وهي التي بموجبها يدفع مشترو المركبات الكبيرة المستهلكة للوقود بكميات كبيرة ضريبةً إضافية، في حين يُمنح مشترو المركبات الصغيرة ذات الكفاءة في استهلاك الوقود حوافز ضريبية. ويتفق هذا الأسلوب الضريبي بشكل جيد مع المعايير الأكثر صرامة والتي تتطلب من صانعي المركبات إنتاج مركبات تستهلك وقودا أقل. وكذلك فإن إضافة ضرائب أعلى على الوقود ستحفز الناس على شراء المركبات ذات الكفاءة في الوقود. ومن الممكن للحوافز الضريبية أن تحدث تغيرا أسرع في التحول إلى التقانات الجديدة في مؤسسات الإنتاج. ولعله من الضروري الأخذ بجميع الإجراءات السابقة لمتابعة سيرنا قدما إلى الأمام. ■

(*) U.S. Vehicle Petroleum Use
(**) Promoting Change

المؤلف

John B. Hoywood

أستاذ Sun Jae للهندسة الميكانيكية ومدير مختبر سلون للمركبات في معهد ماساتشوستس للتقانة (MIT). وقد تلقى <هويوود> تعليمه في كلٍ من جامعتي كمبردج والمعهد MIT، حيث أصبح عضوا في هيئتها التدريسية عام 1968. وهو مؤلف الكتاب الشائع الاستخدام Internal Combustion Engine Fundamentals [McGraw-Hill, 1988]، وعضوٌ في الأكاديمية الهندسية الوطنية والأكاديمية الأمريكية للفنون والعلوم.

مراجع للاستزادة

Reducing Gasoline Consumption: Three Policy Options. Congressional Budget Office, November 2002. Available at **www.cbo.gov/ftpdocs/39xx/doc3991/11-21-GasollineStudy.pdf**

Reducing Greenhouse Gas Emissions from from U.S. Transportation. David L. Greene and Andreas Schafer. Pew enter on Global Climate Change, May 2003. Available at **www.pewclimate.org/docUploads/ustransp.pdf**

Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability. World Business Council for Sustainable Development, 2004. Available at **www.wbcsd.org/web/publiccations/mobility/mobility-full-pdf.**

DOE FreedomCAR and Vehicle Technologies Program's Fact of the Week: **www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/facts/2006-index.html**

Scientific American, September 2006

أسباب غير نيزكية للانقراضات الجماعية القديمة(*)

غازات خانقة وحرارة مرتفعة انبعثت من باطن الأرض والبحار، أسبابها غير نيزكية (كويكبية)، أحدثت على الأرجح عدة انقراضات جماعية قديمة. فهل يمكن أن تتشكّل من جديد شروط الدفيئة القاتلة نفسها؟

<P. D. وورد>

أشار الفيلسوف والمؤرّخ <S. Th. كُهْن> إلى أن فروع المعرفة العلمية تتطور إلى حد ما مثل الكائنات الحية: وعوضا عن تطوّرها ببطء، فإنّها تتمتّع بمدد طويلة من الاستقرار تقطعها ثورات قليلة الحدوث وذلك بظهور أنواع جديدة ـ وبتطوّر العلم تظهر نظريات جديدة. ويناسب هذا الوصف بصورة خاصة حقل دراستي، أي أسباب الانقراضات الجماعية ونتائجها ـ تلك الثورات البيولوجية الدورية عندما كان ينقرض جزء كبير من مخلوقات الأرض الحية ولا يعود بعدها أي شيء لما كان سابقا.

ومنذ تعرُّف هذه الانقراضات الجماعية التاريخية أول مرة، قبل نحو قرنين من الزمن، اعتقد علماء الأحافير أنّها كانت أحداثا تدريجية سبّبتها تغيّرات مناخية وقوى بيولوجية، مثل الافتراس والتنافس والمرض. ولكن في عام 1980، تعرّض فهم الانقراضات الجماعية إلى ثورة «كُهْنية» (نسبة إلى الفيلسوف كهن)، عندما أشار فريق من الباحثين [بجامعة كاليفورنيا في بركلي] بقيادة الجيولوجي <W. ألفاريز>، إلى أنّ الانقراض الشهير القاتل للدينوصورات، قبل نحو 65 مليون سنة، حدث بسرعة نتيجة كارثة في النظام البيئي أعقبت تصادم نيزك (كويكب) مع الأرض. وعلى مدى العقدين التاليين، أحرزت فكرة إمكانية قتل جزء كبير من الحياة على الأرض بنيزك من الفضاء قبولا واسعا ـ إذ اعتقد كثير من الباحثين في النهاية أنّ فتات الصخر الناتجة من تصادم نيزك مع الأرض سبّبت على الأرجح ثلاثة انقراضات على الأقل من الانقراضات الجماعية الخمسة الكبرى. وقد اتخذ قبول الجماهير لهذه الفكرة شكلا محددًا مع إنتاج هوليود السينمائي الفائق المتمثّل بالفيلمين **ديپ إمپاكت** *Deep Impact* و**أرماگدّون** *Armageddon*.

وفي الوقت الحاضر، فإن تحوّلا آخر في تفكيرنا حول ماضٍ متقطّع للحياة مازال في طور التشكّل. إن هناك دليلا جيوكيميائيا[1] جديدا موجودا في مجموعات من الصخور المتطبّقة[2] التي تمثّل أحداث الانقراض الجماعي في السجل الجيولوجي. ويتضمّن الدليل الاكتشاف المثير لبقايا كيميائية دعيت **مؤشرات بيولوجية (حيوية)** biomarkers عضوية، تنتجها أشكال الحياة الدقيقة التي لا تترك بقايا أحفورية. وتوضّح هذه البيانات مجتمعة أنّ التصادم الكارثي كسبب للانقراض الجماعي كان الاستثناء وليس القاعدة. وفي معظم الحالات، يبدو أنّ الكرة الأرضية نفسها أصبحت العدو الأسوأ للحياة في أسلوب لا يمكن تصوّره من قبل. وقد تضع نشاطات البشر الحالية الغلاف الحيوي في خطر مرة أخرى.

وفقا للجيولوجي <ألفاريز>(**)

ومما يساعد على فهم الحماس العام لنموذج التصادم مراجعةُ الأدلة التي غذّته. فالسيناريو الذي وضعه الجيولوجي <W. ألفاريز> بالاشتراك مع والده الفيزيائي <L. W. ألفاريز> والمختصين بالكيمياء النووية <H. V. ميتشل> و <F. أسارو>، يحتوي على فرضيتين منفصلتين: الأولى تفترض أنّ نيزكا كبيرا إلى حد ما ـ قُدّر قطره بنحو 10 كم ـ ضرب الكرة الأرضية قبل نحو 65 مليون سنة، والفرضية الأخرى هي أنّ النتائج البيئية للتصادم أدت إلى نفوق أكثر من نصف عدد أنواع الكائنات الحية. فقد وجدوا آثارا خلّفتها الصدمة في الغبار المترسب على شكل طبقة ثخينة من الإيريديوم ـ وهو عنصر فلزي نادر على الأرض ولكنه شائع في مواد أصلها من خارج الكرة الأرضية.

وفي غضون عقد من الزمن من هذا الإعلان المدهش كُشفت «بصمة القاتل» على شكل حفرة ارتطام تشيكسولب Chicxulub مختفية في سهل منبسط بشبه جزيرة يوكاتان في المكسيك. فقد أزال اكتشافها معظم الشكوك المتبقية حول انتهاء الدينوصورات بضربة واحدة. وفي الوقت نفسه، أثارت شكوكا جديدة حول أحداث الانقراضات الجماعية الأخرى: إذا كان أحدها قد حصل بسبب تصادم، فما الذي حصل بشأن بقية الانقراضات؟ في الواقع، لقد أُبيد معظم أشكال الحياة على الأرض خمس مرات في أثناء الـ500 مليون سنة الماضية من تاريخ الأرض. فقد جرى أول حدث من هذا النوع في نهاية الدور[3] الأوردوفيسي، قبل نحو 443 مليون سنة؛ أمّا الحدث الثاني فقد حُدِّد بالقرب من نهاية الدور الديفوني، أي قبل نحو 374 مليون سنة. وأكبر هذه الانقراضات هو **النفوق الكبير** the Great Dying الذي حدث في نهاية الدور البرمي ـ قبل نحو 251 مليون سنة، وقد أدّى إلى إبادة 90% من الكائنات البحرية و70% من النباتات والحيوانات، وحتى

(*) العنوان الأصلي للمقالة: IMPACT FROM THE DEEP.
(**) After Alvarez
(1) geochemical evidence
(2) stratified
(3) الدور period: وهو تقسيم زمني جيولوجي أطول من **العصر** epoch ومتضمن في **الحقبة** era. (التحرير)



بكتيرات[1] كبريتية خضراء وأرجوانية تستعمر نبعا حارا وتعيش في مياه خالية من الأكسجين ولكنها غنية بكبريت الهيدروجين. ويدلّ ازدهار هذه الكائنات الحية في المحيطات في أثناء فترات الانقراض الجماعي القديمة على شروط مشابهة مهيمنة على تلك الأزمنة.

الحشرات، التي تعيش على اليابسة [انظر: «*أم الانقراضات الجماعية*»، **العلوم**، العدد 1 (1996)، ص 24]. وحدث النفوق الواسع الانتشار مرة أخرى قبل نحو 201 مليون سنة، عند انتهاء الدور الترياسي؛ وأمّا آخر انقراض كبير فقد حدث بالتصادم الكبير المذكور آنفا، قبل نحو 65 مليون سنة، منهيا معه الدور الكريتاسي.

وفي بداية التسعينات من القرن العشرين، تنبأ عالم الأحافير (المستحاثات) <D. روب> في كتابه ***الانقراضات: جينات سيئة أم حظ سيئ؟*** *Extinctions: Bad Genes or Bad Luck?*، بأنّ عمليات التصادم هي المسؤولة في النهاية عن جميع هذه الانقراضات الجماعية الرئيسية وغيرها من الأحداث الأقل شدة أيضا. وبكل تأكيد، فإنّ الدليل على التصادم عند حدود[2] دوْري الكريتاسي/الثلاثي[3] (K/T) كان مقنعا وسيبقى: إضافة إلى حفرة تشيكسولب وطبقة الإيريديوم الواضحة، فإنّ فتات التصادم التي تحوي حجارة متأثرة بضغط التصادم مبعثرة عبر الكرة الأرضية، تشهد جميعها على ذلك. وهناك إشارات كيميائية أخرى في الرواسب القديمة توثّق حصول تغيرات سريعة في المناخ وفي تركيب الغلاف الجوي العالمي حصلت بسرعة بعد التصادم.

وفي انقراضات أخرى، تشير الأدلة إلى التصادم أيضا. فقد سبق للجيولوجيين أن ربطوا، في بداية سبعينات القرن الماضي، طبقة الإيريديوم الرقيقة بانقراضات نهاية الدور الديفوني. وفي عام 2002، أشارت اكتشافات منفصلة إلى عمليات تصادم عند حدود نهاية الدور الترياسي ونهاية الدور البرمي. كما لوحظت آثار قليلة من الإيريديوم في طبقة نهاية الدور الترياسي. أمّا بالنسبة إلى الدور البرمي فإن جزيئات «**كريّات بوكي**» buckyballs الكربونية المتميّزة التي تحوي غازات كونية (من خارج الكرة الأرضية) حبيسة داخلها، تُضيف برهانا محيّرا آخر[4]. وهكذا توصّل الكثير من العلماء إلى

(١) جمع بكتيرة.
(٢) boundaries
(٣) Tertiary
(٤) انظر: "*Repeated Blows*," by Luann Becker; *Scientific American*, March 2002.

الاشتباه في أنّ النيازك (الكويكبات) أو المذنبات كانت مصدر أربعة من الانقراضات الجماعية «الخمسة الكبيرة»، والاستثناء كان الحدث الذي حصل في نهاية الدور الأوردوفيسي، واعتبر نتيجة إشعاع انبعث من نجم انفجر في الكون القريب منا.

ومع ذلك استمر الباحثون في سبر البيانات في السنين الحديثة، ووجدوا أنّ هناك بعض الأشياء لم تؤخذ بالحسبان. فقد أشارت تحاليل جديدة للأحافير إلى أنّ الانقراضات الترياسية والپرمية كانت سيرورات مستمرة استغرقت مئات الألوف من السنين. ويبدو أنّ دليل ارتفاع الكربون الجوي وانخفاضه المعروف بـ«دوران الكربون»[1]، الذي تم الحصول عليه حديثا، يشير إلى أنّ الغلاف الحيوي قد تعرّض لسلسلة متواصلة طويلة الأمد من الأذى البيئي أكثر من تعرّضه لضربة كارثية واحدة.

يمكن للأرض أن تبيد قاطنيها، ومن المحتمل أنّها فعلت ذلك.

ليس تصادما سريعا «مفاجئا» إلى هذا الحد(*)

كان الدرس المستخلص من حادثة ارتطام جرم كبير بالأرض عند حدود الكريتاسي/الثلاثي أنّه يشابه زلزالا شديدا أدّى إلى تسوية مدينة: كارثة مفاجئة ومدمّرة وفي مدة قصيرة - وبعد انتهائها، تبدأ المدينة بالإعمار بسرعة. وهذه السرعة من الدمار واستعادة الوضع التالي تنعكسان في بيانات نظائر الكربون المتعلّقة بانقراضات الكريتاسي/الثلاثي وكذلك في السجل الأحفوري، مع أن التأكّد من هذا السجل قد استغرق من المجتمع العلمي بعض الوقت. وقد كان النفوق المتوقع والمفاجئ عند حدود الكريتاسي/الثلاثي مرئيا بالفعل بين الأحافير الأصغر والأكثر عددا وهي **العوالق** planktons الكلسية والسيليسية وفي أبواغ النباتات. ولكن يبدو أنّه كلما كانت الأحافير أكبر، في مجموعة ما، كان انقراضها يتم تدريجيا.

وبكل أناة، فهم علماء الأحافير أنّ هذا الشكل من الإبادة الظاهرية «التدريجية» كان متأثرا بقلة عينات الأحافير الكبيرة وببعثرتها في معظم طبقات الترب والصخور التي دُرست. ولمعالجة مشكلة أخذ العينات والحصول على صورة أوضح لسرعة الانقراض، طوّر عالم الأحافير <C. مارشال> [من جامعة هارڤارد] طريقة إحصائية جديدة لتحليل **المدى الزمني** ranges لوجود الأحافير. وبتحديد احتمال انقراض نوع معين في فترة زمنية مفترضة، تعطي هذه الطريقة التحليلية أكبر كمية من المعلومات المستخلصة من الأحافير، وحتى النادرة منها.

وفي عام 1996 وحّدنا جهودنا مع جهود <مارشال> لاختبار طريقته في دراسة مقاطع استراتيگرافية (طبقية) للحدود بين الكريتاسي والثلاثي، فتبيّن في نهاية الدراسة أنّ الذي بدا وكأنّه انقراض تدريجي للحيوانات البحرية الأكبر والأكثر غزارة - وهي **الأمونيتات** Ammonites [أحافير من الرخويات ترتبط بصلات قربى مع **النوتيلوس** Nautilus ذي الحُجيرات] في أوروبا - كان متوافقا، في الواقع، مع اختفائها المفاجئ عند الحدود نفسها بين الكريتاسي والثلاثي. أمّا الدراسات التي أجرتها مجموعتي للطبقات التي تُمثّل البيئات البحرية والبرية على السواء للقسم الأعلى من الدورين الپرمي والترياسي، فقد بيّنت وجود تعاقب متدرّج للانقراضات يتجمّع في جوار تلك الحدود.

وقد انعكس هذا النمط من الإبادة أيضا في سجل نظائر الكربون الذي يعدّ أداة فعّالة أخرى لفهم **معدلات** rates الانقراض. فالكربون يوجد في **ثلاثة نظائر** isotopes، لها أعداد مختلفة قليلا من الجسيمات المشحونة بشحنة معتدلة في النواة. ويعرف الكثير من الناس أحد هذه النظائر وهو الكربون 14 (^{14}C)، لأن اضمحلاله غالبا ما يستخدم في تأريخ هياكل أحافير محدّدة أو عينات من الرواسب القديمة. ولكن من أجل تفسير الانقراضات الجماعية، هناك نوع أكثر فائدة من المعلومات تُستخلص من السجل الأحفوري، ألا وهو النسبة بين النظيرين (^{12}C) و (^{13}C) التي تؤمّن معلما أوسع لنشاط حياة النبات في ذلك الوقت.

ويعود ذلك إلى أنّ التركيب الضوئي مسؤول، إلى حد كبير، عن تغيير النسبة بين (^{12}C) و (^{13}C). فالنباتات تستخدم الطاقة الشمسية لشطر ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) إلى كربون عضوي تستثمره لبناء خلاياها وللتزود بالطاقة؛ ولحسن حظ الحيوانات والبشر يمثّل الأكسجين الحر منتجها الثانوي. ولكن النباتات تُدقّق في انتقائها؛ فهي تنتقي بصورة تفضيلية ثنائي أكسيد الكربون الذي يحوي النظير ^{12}C. وهكذا عندما تكون حياة النباتات مزدهرة - فيما إذا كانت على شكل ميكروبات أو طحالب طافية أو أشجار طويلة تقوم بسيرورة التركيب الضوئي - فإنّ نسبة ثنائي أكسيد الكربون المتبقية في الغلاف الجوي الذي يحوي النظير ^{13}C تكون أعلى، ونسبة ثنائي أكسيد الكربون الذي يحوي النظير ^{12}C تكون أدنى وهي نسبة يمكن قياسها.

وبفحص نسبة النظائر في عينات ما قبل الانقراض والتي في أثنائه وما بعده، تمكّن الباحثون من الحصول على مؤشّر موثوق يدل على كمية حياة النباتات على اليابسة وفي البحار على السواء. وعندما

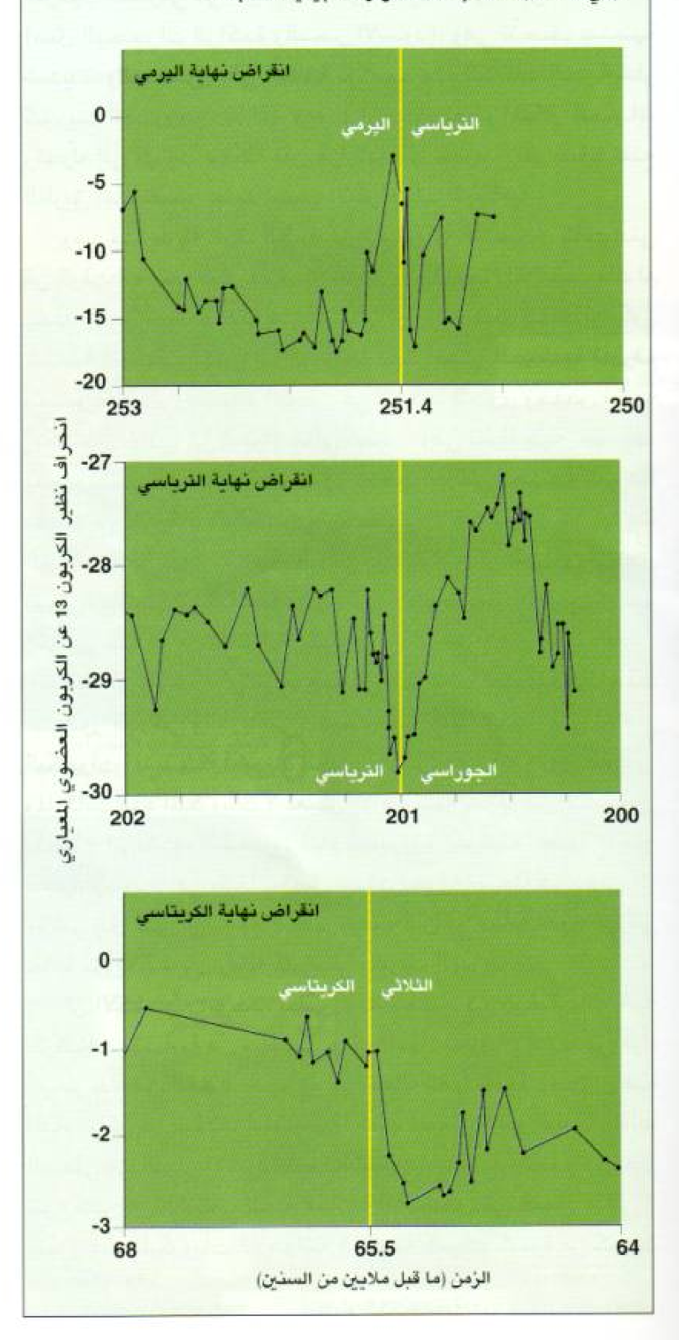
نظرة إجمالية/ الانقراضات الجماعية(**)

- **أبيد أكثر من نصف أشكال الحياة على الكرة الأرضية بصورة متكرّرة في انقراضات جماعية على مدى الـ500 مليون سنة الماضية.**
- **كثيرا ما نسبت إحدى هذه الكوارث - التي تتضمّن انقراض الديناصورات - إلى تصادم نيزك (كويكب)، غير أن تفسير الكوارث الأخرى بقي غير كاف.**
- **يشير دليل جيوكيميائي وأحفوري جديد إلى أنّ آلية بيئية خانقة سبّبت أكبر الانقراضات الجماعية القديمة، ومن المحتمل أنّها سبّبت عددا من الانقراضات الأخرى؛ ألا وهي محيط مستنفَد الأكسجين ينفث غازا ساما نتيجة احترار عالمي (شامل)[2].**

(*) Not So Sudden Impact
(1) carbon cycling
(**) Overview/ Mass Extinctions
(2) global warming

أنماط الإبادة(*)

يشير نظير الكربون 13 (^{13}C) الموجود في الطبقات الجيولوجية إلى آليات عمل طويلة الأمد تدعم انقراضين من أحداث الانقراضات الثلاثة القديمة. إن نظير الكربون 13 يكون أكثر غزارة في الغلاف الجوي عندما تكون النباتات البرية والبحرية مزدهرة. وعندما تنفق الحياة النباتية نفوقا جماعيا ينخفض الكربون 13 في الغلاف الجوي انخفاضا متناسبا مع ذلك. وبمقارنة عينات قديمة مع الكربون المعياري الشائع تُكتشف انخفاضات كبيرة ومتعدِّدة في نسب الكربون 13 أرشدت إلى حدود نهاية البرمي (*في الأعلى*) أو إلى حدود نهاية الترياسي (*في الوسط*). وتشير الانخفاضات إلى أزمات انقراض متعدِّدة حدثت على مدى مئات الألوف من السنين. وبالمقابل فإنّ انخفاض الكربون 13 في الفترة حول الحدود الكريتاسي/الثلاثي (*في الأسفل*) تمثِّل إحدى الكوارث البيئية المفاجئة.



أسقط الباحثون مثل هذه القياسات المتعلقة بانقراض الكريتاسي/الثلاثي على مخطط، ظَهَر شكل يسهل فهمه. وبصورة متزامنة تقريبا مع تكوّن طبقة الفتات الصخري المحتوية على الدليل المعدني(1) الناتج من التصادم، تغيرت نسب نظائر الكربون ـ انخفاض مثير في نسبة النظير ^{13}C ـ لمدة قصيرة، وهذا يدل على توقف مفاجئ للحياة النباتية واستعادة سريعة لها. ويتوافق هذا الكشف مع السجل الأحفوري للنباتات البرية الكبيرة والعوالق (البلانكتونات) المجهرية على السواء، التي تعرّضت إلى خسائر مذهلة في حَدَث الكريتاسي/الثلاثي، ولكنها عادت بسرعة إلى وضعها التالي.

وبالمقابل فإنّ سجلات الكربون التي اكتشفها فريقي في أوائل عام 2005 للدور البرمي والسجلات التي اكتشفت حديثا للدور الترياسي، توثِّق مصيرا مختلفا جدا للنباتات والعوالق في أثناء الانقراضين المذكورين آنفا. وفي كلتا الحالتين، فإن التغيّرات النظائرية المتعدِّدة خلال فترات تراوح بين 000 50 و 000 100 سنة، تشير إلى أنّ المجتمعات النباتية(2) قد تعرضت للإبادة ثم أعيد تشكّلها من جديد فقط قبل أن تتعرض ثانية إلى سلسلة من أحداث الانقراض [*انظر الإطار في هذه الصفحة*]. وللوصول إلى مثل هذا النمط من الانقراض لابد من تعاقب لضربات النيازك (الكويكبات) تفصل بينها آلاف السنين. غير أنه لا يوجد دليل معدني على حصول سلسلة من التصادمات في أثناء أي من الفترتين الزمنيتين المذكورتين.

وبالفعل، فقد شكّكت تحريات لاحقة في احتمال حدوث أي تصادمات في أثناء الزمنين المذكورين آنفا؛ إذ لم تعثر أي مجموعة بحث أخرى على كريّات بوكي المحتوية على غازات من خارج الكرة الأرضية عند نهاية حدود الدور البرمي. واستُبعد أيضا الكوارتز المصدوم(3) المكتشف في تلك الفترة؛ كما أنّ الجيولوجيين لم يتفقوا على ما إذا كانت **فوهات** craters التصادم المزعومة الناتجة من هذا الحدث ـ الموجودة في قاع المحيط بالقرب من أستراليا أو تحت جليد القطب الجنوبي ـ هي بالفعل فوهات تصادم أو مجرد تشكيلات صخرية طبيعية. وفيما يتعلّق بنهاية الترياسي، فإنّ وجود الإيريديوم بنسبة منخفضة يمكن أن يعكس تصادم نيزك (كويكب) صغير، ولكن ليس بحجم النيزك القاتل للكوكب الذي حصل عند حدود الكريتاسي/الثلاثي. فإذا لم يتم تدعيم فكرة التصادمات سببا لهذه الانقراضات الجماعية، فما الذي أحدث إذًا الإبادات الكبرى للحياة؟ إنّ نوعا آخر من الأدلة يكشف عن أنّ الأرض نفسها يمكنها أن تُبيد قاطنيها، ومن المحتمل أنها فعلت.

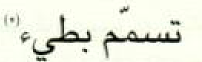
ظاهرة دفيئة مخيفة(**)

قبل نصف عقد تقريبا، بدأت مجموعات صغيرة من الجيولوجيين بتوحيد جهودها مع متخصصين بالكيمياء العضوية لدراسة الشروط البيئية في الأزمنة الحاسمة من تاريخ الأرض. وقد تضمّن عملهم استخلاص بقايا عضوية من طبقات قديمة بحثا عن «أحافير» كيميائية(4) تعرف بالمؤشرات البيولوجية(5). فبعض الكائنات الحية تُخلِّف جزيئات عضوية لا تتحلل بسهولة وصارت مدفونة في الصخور الرسوبية. وهذه المؤشرات البيولوجية

(*) Patterns of Destruction
(**) Ghastly Greenhouse
(1) mineralogical evidence
(2) plant communicaties
(3) shocked
(4) chemical fossils
(5) biomarkers

يمكن أن تستخدم دليلا على أشكال الحياة الميتة التي بقيت محفوظة فترة طويلة، والتي لا تترك عادة أية هياكل أحفورية. مثلا، إنّ أنواعا من الميكروبات تخلّف آثارا من الشحوم المتميّزة الموجودة في أغشية خلاياها ـ آثارا تظهر بأشكال جديدة في **قياس الطيف الكتلي** mass spectrometry، وهو تقنية **تفرز الجزيئات** molecules وتميّزها بحسب كتلها.

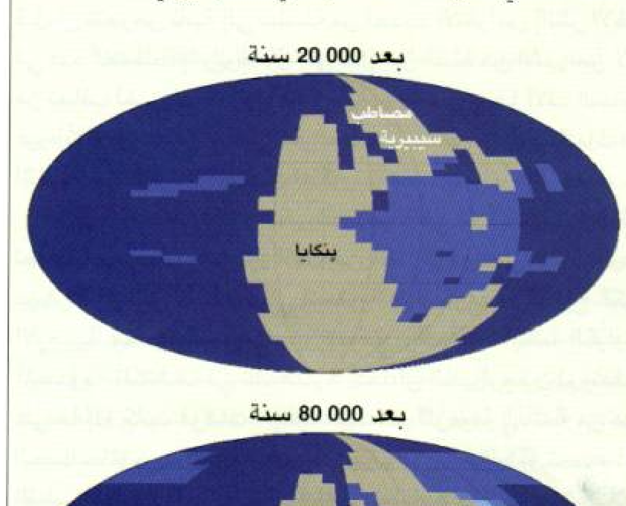
لقد وُجِّه البحث في المؤشّر البيولوجي أولا إلى الصخور الأقدم



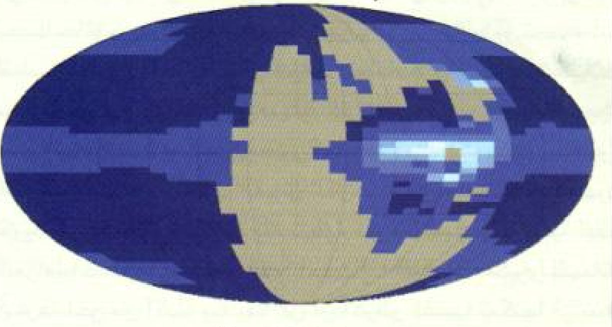
تسمّم بطيء[*]

تتنبأ محاكاة حاسوبية بارتفاع تركيزات كبريت الهدروجين السام واستنفاد تدريجي للأكسجين في المياه السطحية في بحار العالم في نهاية الدور البرمي. ويوضح النموذج المقدّم من <M.K. ماير> و<R.L. كامب> [من جامعة ولاية پنسلڤانيا] الطريقة التي أثر فيها الاحترار العالمي ـ الناجم عن النشاط البركاني الواسع الذي بدأ قبل نحو 251 مليون سنة في منطقة المصاطب[1] السيبيرية من قارة پنكايا Pangaea العملاقة ـ في المحيطات محدثا كارثة في النظام البيئي.

بعد 20 000 سنة



بعد 80 000 سنة



بعد 200 000 سنة



كبريت الهدروجين المنحل
(ميكرومول في الكيلوغرام من ماء البحر)
0 1.25 2.5 3.75 5

من تاريخ الحيوانات والنباتات، لتحديد متى ظهرت الحياة أول مرة على الأرض وتحت أي شروط. وفي السنوات القليلة الماضية، بدأ العلماء بأخذ العينات من حدود الانقراضات الجماعية[2]؛ وما أثار دهشة الذين يقومون بهذا العمل أنّ البيانات من فترات الانقراض الجماعي، باستثناء حَدَث الكريتاسي/الثلاثي، أوضحت أنّ مياه البحار في العالم عادت أكثر من مرة إلى ظروف الانخفاض الشديد للأكسجين الموجود فيها، المعروف بحالة **الإرجاع (الاختزال)** anoxia التي كانت شائعة قبل أن تصبح النباتات والحيوانات غزيرة.

ومن بين المؤشرات البيولوجية المكتشفة بقايا عدد كبير من البكتيرات الكبريتية الخُضْر الصغيرة التي تقوم بسيرورة التركيب الضوئي. وفي الوقت الحاضر، تعيش هذه البكتيرات مع أقربائها من البكتيرات الكبريتية الأرجوانية، التي تقوم أيضا بسيرورة التركيب الضوئي في البيئات البحرية **المرجعة (المختزلة)**[3] anoxic (مثل البحيرات الراكدة والبحر الأسود)، وهي تتّصف بسمية شديدة. وللحصول على الطاقة تؤكسد هذه الكائنات الحية غاز كبريت الهدروجين (H_2S)، وهو غاز سام لمعظم أشكال الحياة، وتحوّله إلى كبريت. وهكذا فإنّ غزارتها عند حدود الانقراضات تفتح الطريق أمام تفسير جديد لسبب الانقراضات الجماعية.

ومنذ مدة طويلة عرف العلماء أنّ مستويات الأكسجين كانت أدنى من الوقت الحاضر طوال فترات الانقراض الجماعي، ولكن سبب ذلك لم يحدّد بصورة صحيحة على الإطلاق. ومن المحتمل كذلك أن يكون النشاط البركاني الكبير المرافق لمعظم الانقراضات الجماعية قد رفع مستويات ثنائي أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وخفّض نسبة الأكسجين، وأدّى إلى احترار عالمي شديد ـ وهي نظرية بديلة، منذ عهد بعيد، للتصادمات؛ ومع ذلك فإنّ التغيّرات التي تُحدثها **البركنة** volcanism لا يمكنها بالضرورة تفسير الانقراضات البحرية الجماعية في نهاية الدور البرمي. وكذلك لا يمكن للبراكين أن تُعلّل نفوق النباتات على اليابسة، لأنّها تزدهر بزيادة نسبة ثنائي أكسيد الكربون؛ كما أنّه من المحتمل أن تستمر حياتها مع الاحترار.

غير أنّ المؤشرات البيولوجية في الرواسب البحرية في أحدث صخور البرمي والترياسي، أعطت دليلا كيميائيا على ازدهار البكتيرات المستهلكة لكبريت الهدروجين ازدهارا كبيرا في البحار. ولما كانت هذه الميكروبات لا تعيش إلا في بيئة خالية من الأكسجين وتحتاج إلى ضوء الشمس للقيام بسيرورة التركيب الضوئي، فإنّ مجرد وجودها في طبقات تُمثّل بيئات بحرية ضحلة هو بحد ذاته مؤشر يدل على أنّ سطح البحار نفسه كان في نهاية الدور البرمي خاليا من الأكسجين ولكنه كان غنيا بكبريت الهدروجين.

إن الأكسجين يوجد، بصورة طبيعية، في البحار الحالية بتركيزات متساوية من سطحها حتى قاعها؛ بسبب انحلاله في مياه البحر بدءا من الغلاف الجوي، ثم انتقاله نحو الأسفل بدوران هذه المياه. ولكن في حالات استثنائية، كتلك الموجودة في الطبقة المائية السفلى في البحر الأسود، تصبح الظروف مُرجعة وتسمح بازدهار تنوع كبير من الكائنات الحية الكارهة للأكسجين في العمود المائي[4]. وتفرز هذه الميكروبات اللاهوائية العميقة كميات كبيرة من كبريت

(*) Slow Poisoning
(1) traps
(2) mass extinction boundaries
(3) أو اللاتاكسجية
(4) water column

ظاهرة الدفيئة القاتلة(*)

يفسّر نموذج جديد للانقراضين الجماعيين - عند نهاية الدور البرمي (قبل نحو 251 مليون سنة) وعند نهاية الترياسي (نحو 50 مليون سنة بعد ذلك) - كيف أمكن لاحترار عالمي شديد أن يُحدث النفوق في البحر وعلى اليابسة. إن الاضطراب يبدأ بنشاط بركاني واسع يطلق حجوما ضخمة من ثنائي أكسيد الكربون والميتان [1]. تتسبّب الغازات في احترار عالمي سريع [2]. يمتص البحر الأدفأ كمية أقل من الأكسجين من الغلاف الجوي [3]. تؤدّي حالة الإرجاع(1) anoxia إلى عدم استقرار خط التغيّر الكيميائي chemocline، حيث تلتقي المياه المؤكسدة بالمياه المزودة بكبريت الهدروجين [H_2S] الذي تطلقه البكتيرات اللاهوائية القاعية [4]. وكلما ازداد تركيز كبريت الهدروجين ونقص تركيز الأكسجين، ارتفع خط التغير الكيميائي (الكيموكلاين) بصورة مفاجئة إلى سطح البحر [5]. البكتيرات الكبريتية الخضراء والأرجوانية التي تقوم بسيرورة التركيب الضوئي وتستهلك غاز كبريت الهدروجين وتعيش عادة عند عمق خط التغيّر الكيميائي، أصبحت تعيش في المياه السطحية الغنية بغاز كبريت الهدروجين، حيث تختنق أشكال الحياة البحرية التي تتنفس الأكسجين [6]. وينتشر غاز كبريت الهدروجين أيضا في الهواء مؤديا إلى قتل الحيوانات والنباتات على اليابسة [7]. ويرتفع هذا الغاز إلى طبقة الاستراتوسفير(2)، فيتلف طبقة الأوزون الكوكبية [8]. ومن دون درع الأوزون تقتل أشعة الشمس فوق البنفسجية أشكال الحياة المتبقية [9].

8 يُتلف غاز كبريت الهدروجين درع الأوزون.

الأشعة فوق البنفسجية

9 ...ل الأشعة فوق البنفسجية ...كال الحياة المتبقية.

1 يطلق النشاط البركاني غازي ثنائي أكسيد الكربون والميتان.

2 احترار عالمي سريع.

7 يقتل غاز كبريت الهدروجين الحيوانات والنباتات البرية.

6 تزدهر البكتيرات الخضراء والأرجوانية، في حين تختنق الكائنات الحية التي تتنفس الأكسجين.

3 تمتص البحار الدافئة كمية أقل من الأكسجين.

5 صعود كبريت الهدروجين إلى سطح البحر.

الأكسجين المنحل

4 تؤدّي حالة الإرجاع(1) إلى عدم استقرار خط التغيّر الكيميائي (الكيموكلاين).

خط التغيّر الكيميائي

غاز كبريت الهدروجين المنحل

ازدهار البكتيرات اللاهوائية

(*) Killer Greenhouse Effect

(1) أي عوز الأكسجين.

(2) طبقة الأوزون موجودة في الاستراتوسفير وليس التروبوسفير، كما ورد في الأصل الأجنبي خطأ.



يظهر في صورة الساتل[1] انطلاق غاز كبريت الهدروجين بالقرب من شاطئ ناميبيا على شكل دوامات خضر شاحبة على سطح المحيط. وهذه الأحداث المحلية المنتظمة الناتجة من تجمّع كبريت الهدروجين في رواسب قاع البحر تقدّم اختبارا (إحساسا) صغيرا ومعاصرا[2] للظروف في أثناء عمليات الصعود الشامل[3] المقترحة لفترات متعدِّدة من الانقراضات الجماعية القديمة: تملأ رائحة الكبريت الهواء ويكتسي سطح الماء بالأسماك الميتة وتهرب السرطانات التي تعاني حرمان الأكسجين إلى الشواطئ محاولة الهرب من سمية المياه.

الهدروجين الذي ينحل أيضا في مياه البحر. وعندما يزداد تركيز كبريت الهدروجين ينتشر نحو الأعلى، حيث يلتقي بالأكسجين المنتشر نحو الأسفل. ومادام توازنهما مستقرا[4] تبقى المياه المشبعة بكبريت الهدروجين منفصلة عن المياه **المؤكسدة** oxygenated، ويكون مستقرا الحدُّ الفاصل بينهما الذي يعرف **بخط التغيّر الكيميائي** chemocline. وفي ظروف نموذجية تتمتع البكتيرات الكبريتية الخضراء والأرجوانية بإمدادها بكبريت الهدروجين من الأسفل وبأشعة الشمس من الأعلى.

ومع ذلك، فقد بيّنت الحسابات التي أجراها العالمان الجيولوجيان <L. R. كامب> و<M. A. آرثر> [من جامعة ولاية بنسلڤانيا]، أنّه في حالة انخفاض مستويات الأكسجين في البحار تبدأ الشروط التي تشجع البكتيرات اللاهوائية القاعية على الازدهار وإنتاج كميات أكبر من كبريت الهدروجين. ففي النموذج الذي قدّماه، بيّنا أنّه في حالة زيادة تركيزات كبريت الهدروجين في الأعماق إلى عتبة حرجة خلال فترة الإرجاع (عوز الأكسجين) في مياه البحار، يصعد خط التغيّر الكيميائي (الكيموكلاين) - الفاصل بين المياه العميقة الغنية بكبريت الهدروجين وبين المياه السطحية المؤكسدة - إلى سطح الماء بصورة مفاجئة. وستكون النتيجة المخيفة انطلاق فقاعات كبيرة من غاز كبريت الهدروجين إلى الغلاف الجوي.

وتشير دراساتهما إلى أنّه تولدت كمية كافية من كبريت الهدروجين في نهاية البرمي **بعمليات الصعود** upwellings البحري، وهذه تسبّبت في الانقراضات على اليابسة وفي البحار على السواء [*انظر الإطار في الصفحة 12*]. وهذا الغاز الخانق لم يكن القاتل الوحيد؛ إذ بيّنت نماذج <A. بافلوف> [في جامعة أريزونا] أنّ غاز كبريت الهدروجين سيخرّب أيضا درع الأوزون الكوكبي، وهو طبقة في الغلاف الجوي تحمي أشكال الحياة من الأشعة فوق البنفسجية الشمسية. والدليل على مثل هذا الاضطراب في طبقة الأوزون الذي حدث بالفعل في نهاية الدور البرمي، العثور على أبواغ أحفورية مشوّهة في گرينلاند يُعرف أن تشوهها ناتج من تعرّضها المديد إلى مستويات عالية من الأشعة فوق البنفسجية. ويمكن في الوقت الحاضر أيضا رؤية التناقص السريع **للكتلة الحية** biomass للعوالق النباتية في «**الفجوات**» holes الموجودة تحت درع الأوزون وبخاصة قرب القارة المتجمدة الجنوبية. وفي حالة إبادة هذه القاعدة من السلسلة الغذائية، لن يمضي وقت طويل حتى تصبح الكائنات الحية الأكبر أيضا في أوضاع لا أمل لها في الحياة.

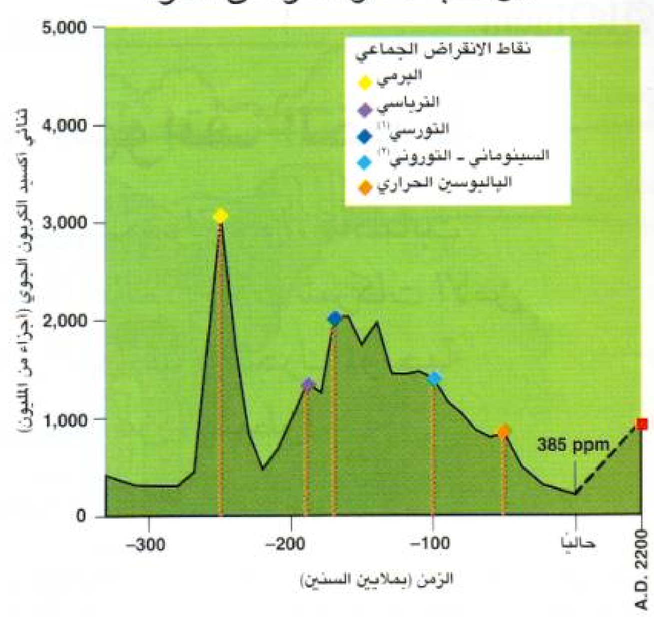
وقدّر كل من <كامب> و <آرثر> أنّ كمية غاز كبريت الهدروجين التي دخلت الغلاف الجوي من المحيطات خلال الدور البرمي المتأخّر، فاقت أكثر من 2000 مرة تلك الكمية الصغيرة التي تطلقها البراكين في الوقت الحاضر. وهي كمية كافية من الغاز السام المنطلق إلى الغلاف الجوي لقتل النباتات والحيوانات على السواء - وبخاصة أنّ درجة سمية كبريت الهدروجين تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة. ويبدو أنّ عدة انقراضات جماعية صغيرة وكبيرة حدثت خلال فترات قصيرة من الاحترار العالمي. وفي هذا السياق يمكن إدخال النشاط البركاني القديم سببا من أسباب الانقراض.

ومن المعروف أنّ أحداثا بركانية رئيسية ألقت، طوال زمن الانقراضات الجماعية المتعدِّدة، آلاف الكيلومترات المربعة من اللابة على اليابسة أو في قاع البحار. وكناتج ثانوي لهذا الانصباب البركاني الهائل فإن حجوما ضخمة من غازي ثنائي أكسيد الكربون والميثان قد ارتفعت إلى الغلاف الجوي وسبّبت الاحترار العالمي السريع. ففي أثناء الجزء الأعلى[5] من البرمي والترياسي، وأيضا خلال الجوراسي المبكّر والكريتاسي الأوسط والباليوسين المتأخّر وغيرها، يؤكّد سجل نظائر الكربون أنّ تركيز ثنائي أكسيد الكربون قد ارتفع بشدة وفجأة قبل بدء الانقراضات، وبقي بعدئذ مرتفعا إلى مئات الألوف - وحتى إلى عدة ملايين - من السنين.

ويبدو أنّ المحيطات كانت هي العامل الأكثر حسما. فارتفاع حرارة مياه البحار يجعل امتصاصها لأكسجين الغلاف الجوي أكثر صعوبة. وهكذا، ففي حال أنّ البركنة القديمة قد رفعت نسبة ثنائي أكسيد الكربون وخفضت كمية الأكسجين في الغلاف الجوي وأنّ

(*) Slow Poisoning
(1) أو القمر الصنعي.
(2) small modern taste
(3) global upwellings
(4) undisturbed
(5) latest

هل نتجه نحو انقراض آخر؟(*)



كان غاز ثنائي أكسيد الكربون الجوي مرتفعا في أثناء الانقراضات الجماعية القديمة، وهذا يدعم الاحترار العالمي في أثناء تلك الأحداث. يبلغ الغاز CO_2 في الوقت الحاضر 385 جزءًا في المليون (ppm)، وهو مرشّح لأن يرتفع من 2 إلى 3 أجزاء من المليون كل سنة . وإذا استمرت هذه الزيادة فقد يقترب ثنائي أكسيد الكربون الجوي في نهاية القرن القادم من 900 جزء من المليون ـ أي مباشرة دون المستويات التي كانت موجودة في أثناء الانقراض الحراري الذي حصل في الباليوسين قبل نحو 54 مليون سنة.

الاحترار العالمي قد صعّب سيرورة دخول الأكسجين المتبقي في مياه المحيطات، فإنّ الشروط تصبح ملائمة للبكتيرات اللاهوائية العميقة لتوليد عمليات صعود غزيرة من كبريت الهدروجين؛ وبذلك ستتأثر بشدة أولا الكائنات الحية البحرية التي تتنفس الأكسجين، في حين أن البكتيرات الخضراء والأرجوانية التي تقوم بسيرورة التركيب الضوئي وتستهلك كبريت الهدروجين ستكون قابلة لأن تزدهر على سطح البحر **المرجع** anoxic. وعندما يقوم غاز كبريت الهدروجين بخنق المخلوقات على اليابسة وبتخريب درع الكوكب الواقي من الأوزون، فلن يسلم ـ في الواقع ـ أي شكل من أشكال الحياة على الأرض.

وتزوّد فرضية «كامب» حول القتل الكوكبي حلقة اتصال بين الانقراضات على اليابسة وفي البحار في نهاية الدور البرمي، وتفسّر كيف تمكّنت البركنة مع زيادة ثنائي أكسيد الكربون من إحداث كلا الانقراضين. كما أنّها تفسّر الاكتشافات الغريبة للكبريت عند نهاية كل موقع من مواقع نهاية الدور البرمي. ويمكن للبحار والغلاف الجوي السامّين أن يعلّلا أيضا الاستعادة البطيئة جدا للحياة بعد ذلك الانقراض الجماعي.

وأخيرا، إنّ هذا التسلسل المقترح من الأحداث لا يتلاءم فقط مع نهاية الدور البرمي، فقد عزي بصورة متوقعة انقراض نهاية عصر الباليوسين الأقل أهمية، قبل نحو 54 مليون سنة، إلى فترة من الإرجاع (عوز الأكسجين) في البحار حدث لسبب ما نتيجة احترار عالمي قصير الأمد. وتوضح المؤشّرات البيولوجية والدليل الجيولوجي المتمثّل بالبحار المرجعة أنّ ما حدث أيضا في نهاية الترياسي والكريتاسي الأوسط والديفوني المتأخر ربّما يجعل من مثل الانقراضات الناجمة عن تأثير الدفيئة الشديد ظاهرة متكرّرة في تاريخ الأرض.

ومع ذلك، فإن الشيء المقلق هو السؤال عما إذا كان للبشر أي شيء يخافونه من هذه الآلية في المستقبل: إذا حدثت من قبل، فهل يمكن أن تحدث مرة ثانية؟ ومع أنّ تقديرات المعدلات التي يدخل فيها ثنائي أكسيد الكربون الغلاف الجوي خلال كل من الانقراضات القديمة لا تزال غير مؤكّدة، فإنّ المستويات النهائية التي وقعت فيها أحداث النفوق الجماعي هي معروفة. لقد بدأ ما يسمى الانقراض الحراري(3) في نهاية الباليوسين عندما كان تركيز غاز ثنائي أكسيد الكربون في الجو أقل قليلا من 1000 جزء من المليون. وعند نهاية الترياسي كان أعلى بقليل من 1000 جزء من المليون. وفي الوقت الحاضر يبدو أنّنا لا نزال في أمان مع معدّل 385 جزءا من المليون. ومع صعود تركيز ثنائي أكسيد الكربون بمعدل جزأين في السنة، ويتوقّع زيادته إلى ثلاثة أجزاء، قد تصل مستوياته إلى 900 جزء من المليون في نهاية القرن التالي، وعندئذ يمكن أن تتحقّق الشروط التي تؤدّي إلى بداية تكوّن البحار المرجعة. والسؤال متى سيكون بعد ذلك انقراض دفيئة جديد؟ هذا شيء لن يكتشفه مجتمعنا على الإطلاق. ■

(*) Headed for Another Extinction?

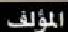
(1) من الدور الجوراسي (نحو 193-187 مليون سنة).

(2) من الكريتاسي الأوسط (نحو 97-88 مليون سنة).

(3) thermal extintion

المؤلف

Peter D. Ward

أستاذ في قسم البيولوجيا بجامعة واشنطن وفي شعبة علوم الأرض والفضاء، حيث يبحث في كلا الحقلين. يتركّز بحثه في حقل علوم الأرض على أحداث الانقراضات الجماعية القديمة وكذلك على تطور الحيوانات البحرية الشبيهة بالنوتيل المعروفة بالأمونيتات وانقراضها النهائي الذي نشره في مقالته الأولى في عدد الشهر 10 (1983) من مجلة ساينتفيك أمريكان. طبّق «وورد» أيضا مبادئ جمعها من دراسة أول أشكال الحياة على الأرض في الأبحاث التي يجريها معهد البيولوجيا الفلكية التابع للإدارة الوطنية للطيران والفضاء (ناسا) حول المواطن المحتملة للحياة في مكان آخر (غير الأرض). فقد درس تلك البيئات بالاشتراك مع «G. كونزاليز» و «D. براونلي» في مقالة «ملاذات للحياة في كون عدائي»، نشرت في  *، العددان 9/8 (2003)، ص 56. وفي كتاب شعبي شارك في تأليفه «براونلي» بعنوان* **«الأرض النادرة: هل الحياة المعقّدة غير شائعة إلى هذا الحد في الكون** Rare Earth :Complex Life Is So Uncommon in the Universe *[Springer (2000)]*.

مراجع للاستزادة

Rivers in Time: The Search for Clues to Earth's Mass Extinctions. Peter D. Ward. Columbia University Press, 2002.

Abrupt and Gradual Extinction among Late Permian Land Vertebrates in the Karoo Basin, South Africa. Peter D. Ward et al. in *Science,* Vol. 307, pages 709–714; February 4, 2005.

Photic Zone Euxinia during the Permian-Triassic Superanoxic Event. Kliti Grice et al. in *Science,* Vol. 307, pages 706–709; February 4, 2005.

Massive Release of Hydrogen Sulfide to the Surface Ocean and Atmosphere during Intervals of Oceanic Anoxia. Lee R. Kump, Alexander Pavlov and Michael A. Arthur in *Geology,* Vol. 33, No. 5, pages 397–400; May 2005.

Scientific American, October 2006

برمجيات خبيثة تغزو الهواتف الخلوية[(١)(*)]

غدت الڤيروسات الحاسوبية اليوم محمولة جوا، فأصابت الهواتف الخلوية[١] في مختلف أنحاء العالم. وبدأت شركات الأمن والمشغلون الخلويون[٢] ومصنعو الهواتف بالتحرك لمواجهة هذه المهددات قبل خروجها عن السيطرة.

<M. هيپونن>

إن اليوم الذي ترقَّبَتْه أسرة الأمن الحاسوبي سنوات كثيرة أتى أخيرا في الشهر 2004/6. فقد عرفتُ وباحثون آخرون كانوا يدرسون أنواع البرمجيات الخبيثة[٣]، أن ظهور تلك البرمجيات في الهواتف الخلوية أيضا هو مسألة وقت ولن يتأخر طويلا. فمع تطور الهواتف الخلوية لتصبح هواتف ذكية ـ أي لتصبح قادرة على تحميل (تنزيل) البرامج من الإنترنت، والتشارك في البرمجيات فيما بينها عبر وصلات البلوتوث القصيرة المدى، والاتصال باستخدام خدمة التراسل المتعدد الوسائط (MMS)، ولوحات الذاكرة ـ نجمت عن قدرات تلك الهواتف المستحدثة مواطن ضعف جديدة. وتمكَّن الأشرار من العثور على مواطن الضعف تلك واستخدامها للإضرار بالآخرين، والأسوأ من ذلك للكسب غير المشروع.

فكما هو متوقَّع، اكتشف خبراء الأمن قبل ثلاث سنوات أول برنامج خبيث كُتب خصيصا للهواتف الذكية. وقد كان ذلك البرنامج، الذي سُمِّي كابير Cabir، ڤيروسا تقليديا الغرض منه هو إثبات فكرة، ومن الواضح أنه صُمم للتباهي والتفاخر. لم يسبِّب الڤيروس أيَّ أذى للجهاز المصاب[٤] به باستثناء تفريغ شحنة بطاريته (مدخرته) أثناء محاولته صنع نسخة من نفسه وإرسالها إلى هاتف ذكي آخر باستخدام البلوتوث. وقد فضَّل مؤلفه المغمور، الذي كان على الأرجح في مكان ما من إسبانيا، إرساله من موقع على الإنترنت عوضا عن إطلاقه حرا. لكنْ في غضون شهرين، قام عابثون آخرون بإطلاقه حرا في جنوب شرق آسيا، لينتشر من ثم في أنحاء العالم.

ومع أننا كنا نبحث عن ڤيروسات من قبيل البرنامج كابير، لم يكن خبراء الأمن مستعدين تماما للتعامل معه. فما إن قُرِع جرس الإنذار، حتى بدأتُ، والعاملون معي في الشركة F-Secure، بمعاينة الڤيروس الجديد الذي كان من نوع يُعرف بالدودة [*انظر الإطار في الصفحة 19 للاطلاع على تعاريف المصطلحات*]. لكنْ لم يكن لدينا مكان آمن لدراسته. فخلافا للڤيروس الحاسوبي الذي يمكن رصده وتشريحه في حاسوب مفصول عن جميع الشبكات، فإن البرمجيات الخبيثة اللاسلكية تستطيع الانتشار، وحتى القفز فوق المحيطات في بعض الحالات، في اللحظة التي يُشغَّل الهاتف المصاب بذلك الڤيروس.

لذا أخذنا أربعة أجهزة خلوية مصابة بالبرنامج كابير إلى الملجأ الموجود في قبو مبنى مكتبنا، ووضعنا حارسا على باب الملجأ قبل تشغيلها تحسبا من دخول أحد العاملين غير العارفين بالأمر والتقاط العدوى. وفي وقت لاحق من ذلك العام، شيَّدت الشركة F-Secure مختبرين محجَّبين[٥] بالألمنيوم والنحاس لا يمكن للموجات الراديوية اختراقهما، وذلك بهدف دراسة هذا البرنامج الخبيث.

صحيحٌ أن الإصدار الأول من البرنامج كابير كان بريئا نسبيا، إلا أن بعض عديمي الضمير من كتَّاب البرمجيات الخبيثة سارعوا إلى تعديله ليصبح أشد ضراوة وأذى، في حين أن آخرين بدؤوا بصنع أنواع مبتكرة من الڤيروسات. إن الڤيروسات الجوالة حاليا تستطيع تعطيل الهاتف كليا، وحذف البيانات الموجودة فيه أو إرغامه على إرسال رسائل مُكْلفة إلى أرقام هاتفية ذات تعرفة إضافية[٦]. وفي غضون عامين، ازداد عدد الڤيروسات التي تستهدف الهواتف الذكية من واحد إلى ما يزيد على مئتين، وهو معدل نمو يضاهي تقريبا معدل ظهور الڤيروسات الحاسوبية في السنتين اللتين تلتا ظهور الڤيروس الحاسوبي الأول في عام 1986 والذي دُعِي برين Brain (أي الدماغ).

نظرة إجمالية/ الهواتف المهددة بالخطر[(**)]

- **ضربت أولى البرمجيات الخبيثة الموجهة إلى الهواتف الذكية ضربتها الأولى في عام 2004. إن الهواتف الذكية هي هواتف جوالة تتيح لمستخدميها تثبيت تطبيقات برمجية فيها من مصادر أخرى غير الشبكة الخلوية.**
- **لقد أُطلق أكثر من 300 نوع من البرمجيات الخبيثة ـ منها ديدان وأحصنة طروادة وڤيروسات وبرمجيات تجسُّس أخرى ـ لتهدِّد تلك الأجهزة.**
- **ومع رواج مبيعات تلك الأجهزة المتطورة على نطاق العالم، تنفتح الحلبة أمام الانتشار الواسع للبرمجيات الخبيثة. وثمة إجراءات تُتَّخذ حاليا لدرء ذلك السيناريو، لكن فرصة التصدي للهجوم لن تبقى متاحة طويلا على الأرجح.**

(*) MALWARE GOES MOBILE
(**) Overview/ Imperiled Phones
(١) ويقال أيضا: الهاتف النقال، الجوال، الموبايل.
(٢) cellular operators
(٣) malware، وأصلها malicious software.
(٤) infected device
(٥) encased laboratories
(٦) premium-priced number أو premium rate number



يمكن لإصابة هاتف ذكي ببرمجيات خبيثة أن تؤدي إلى إصابة هواتف أخرى إصابةً خاضعة لمفعول الدومينو **domino effect**.

مزيدا من الهواتف، مزيدا من الأهداف(*)

في السنوات الأخيرة، ازداد عدد الأجهزة الذكية في العالم ازديادا هائلا، وازداد معها أعداد البرمجيات الخبيثة التي أُطلقت لمهاجمتها. وهذا الخليط يمثل وصفة لكارثة: كلما ازداد حجم الجمهور المستهدف، ازداد احتمال هجوم المبرمجين الأشرار عليه. ويُتوقع أن يزداد حجم الجمهور كثيرا في السنوات القادمة، ويَتوقع المحلِّلون الصناعيون بيع أكثر من 200 مليون هاتف ذكي في عام 2009.





وعلى الرغم من الجهود الجبارة المبذولة لكبح جماح البرمجيات الحاسوبية الخبيثة، فإنها تستمر بالظهور بمعدل عال: لقد جرى تحديد أكثر من 000 200 نوع منها حتى الآن، وغالبا ما يُصاب بها الحاسوب غير المحمي في غضون دقيقتين من الاتصال بالإنترنت. وكانت التكلفة الاقتصادية لعشرين سنة من الهجمات الڤيروسية الضارية مرتفعة جدا. وتتزايد هذه التكلفة بشدة مع تراجع البرمجيات الخبيثة المدرسية القديمة(2)، التي كُتِبت للتباهي، أمام حقبة جديدة من «**البرمجيات الجرمية**» crimeware **المصممة للسپامات**(3) spamming أو لسرقة البيانات أو تخريبها.

أما البرمجيات الخبيثة الجوالة، ومع أنها أكثر قليلا من كونها مزعجة اليوم، فإنها يمكن أن تتفاقم سريعا لتصبح مشكلة أشد ترويعا من البرمجيات الحاسوبية الخبيثة في السنوات القادمة، إذا لم تعمل الأسرة الأمنية وشركات الشبكات الخلوية ومصمِّمو الهواتف الذكية ومستخدموها معا لإبقائها تحت السيطرة. إن تاريخ البرمجيات الحاسوبية الخبيثة متواضع، لكنه يوافر دروسا سوف تساعدنا على التنبؤ ببعض الطرائق التي سوف يشن بها كتّاب الڤيروسات الجوالة هجماتهم في المستقبل، وعلى اتخاذ الإجراءات لإحباطها.

موجة متصاعدة(**)

في عام 1988، استبعد كثير من خبراء الحاسوب أن تكون للڤيروسات أهمية، والمؤسف أنه قد ثبت أن ذلك التقدير كان ساذجا. والوقت الآن هو عام 1988 بالنسبة إلى البرمجيات الخبيثة الجوالة؛ ولذا، ليس لدينا سوى نافذة زمنية قصيرة للعمل على تجنُّب تكرار أخطاء الماضي.

وأحد تلك الأخطاء هو سوء تقدير السرعة التي يمكن للبرمجيات الخبيثة أن تنمو بها من حيث الانتشار والتنوع والتعقيد. إن الانتشار هو دالة في عدد الأجهزة المضيفة(4) التي يحتمل أن تتعرض للإصابة الفعلية، ودالة في معدل إصابتها بالعدوى. كما أن عدد الأجهزة المستهدفة بالبرمجيات الخبيثة الجوالة هائل وفي نمو متصاعد، وثمة حاليا ما يزيد على بليوني هاتف خلوي في العالم.

صحيحٌ أن الغالبية العظمى من هذه الهواتف هي هواتف خلوية قديمة تعمل بنظم تشغيل خاصة مغلقة ومنيعة على العدوى الڤيروسية عموما، إلاّ أن المستهلكين أخذوا يتخلون بسرعة عنها لاقتناء أجيال جديدة من الهواتف الذكية، تعمل بنظم تشغيل ومتصفحات شبكة ووكلاء تراسل وبريد إلكتروني أشد انفتاحا، وتحوي قوارئ بطاقات **ذاكرة ومضية** flash memory وراديوهات **بلوتوث** Bluetooth قصيرة المدى. وكلٌ من هذه الوسائل يمثل قناة يمكن للبرمجيات الخبيثة النفاذ منها.

فعلى سبيل المثال، يسمح البلوتوث لبعض الديدان الجوالة بالانتشار بين الهواتف غير المحمية بمجرد الاقتراب منها، على غرار ما يحصل مع ڤيروس الإنفلونزا. إن الهاتف الذكي المزوَّد بالبلوتوث يستطيع تحديد وتبادل ملفات مع أجهزة أخرى مزوَّدة بالبلوتوث على مسافة 10 أمتار أو أكثر.

(*) More Phones, More Targets
(**) A Rising Tide
(1) mobile malware
(2) old-school
(3) ج: سپام، وهذا تعريب لمصطلح دارج: spam ويطلق على الرسائل المقحمة على بريد إلكتروني خاص [انظر: «*إيقاف السپامات*»، **العلوم**، العددان 4/3 (2006)، ص 44].
(4) host



> في المستقبل القريب جدا، يمكن للهواتف الذكية أن تشكِّل معظم حواسيب العالم.

وعند تنقُّل الضحايا، يمكن لأجهزتهم أن تُخلِّف وراءها قافلة من المصابين. وأي مناسبة تجذب حشدا كبيرا من الناس تمثل أرضا خصبة لتكاثر ڤيروسات البلوتوث.

فمثلا، انتشر أحد أشكال البرنامج كابير السيئة جدا بسرعة كبيرة بين الجمهور في بطولة العالم لألعاب القوى عام 2005 بهلسنكي، وهذا جعل المشرفين على الملعب يعرضون تحذيرا منه على الشاشة الكبيرة. يمكن لمعظم الهواتف الذكية وضع بلوتوث في نمط غير قابل للاكتشاف(1) يحمي هذه الهواتف من غزو الديدان، لكن قلّة من المستخدمين تستفيد من هذه الميزة. وحينما كنت أحاضر في مؤتمر لأمن الحاسوب في فصل ربيع عام 2006، قمت بمسح سريع للقاعة فوجدت أن نصف عدد المحترفين من الحضور تقريبا تركوا البلوتوث في هواتفهم مفتوحا كليا. وهذه النسبة بين العامة أعلى بلا ريب، ولذا فإن هذه الأجهزة تمثل ناقلا فعالا مؤرِّقا ينقل الطفيليات غير المرئية.

إن عدد هذه الأجهزة المضيفة في تنام سريع. فقد بدأت الهواتف الذكية على شكل نماذج باهظة الثمن لرجال الأعمال، لكنها أخذت أخيرا بالرواج بين المستهلكين. وفي كل جيل جديد منها، يتوافر مزيد من الوظائف التي هي أكثر شبها بالوظائف الحاسوبية. وفي نفس الوقت الذي بدأت فيه الهواتف الذكية بامتلاك إمكانات جذابة، من قبيل آلات التصوير الڤيديوية وتحديد الموقع بالأقمار الصنعية (GPS) ومشغِّلات الموسيقى MP3، هبطت أسعارها بعد دعمها جزئيا من قبل مشغِّلي الشبكات الذين يأملون بأن تشجِّع الإمكانات الجديدة الزبائن على إنفاق المزيد على الخدمات الخلوية. لقد باعت الشركات الصانعة أكثر من 40 مليون هاتف ذكي في عام 2005، ويتوقع المحلِّلون الصناعيون رؤية 350 مليون جهاز في الخدمة بحلول عام 2009.

وفي المدى المتوسط، يمكن لهذه الأجهزة أن تُعتَمد بسرعة كبيرة في الاقتصادات الناشئة، حيث ما زال اقتناء الحاسوب ضعيفا نسبيا. لقد بيَّن بحث أجرته Canalys [وهي شركة استشارات في التقانات المتقدمة قرب ريدينگ في إنكلترا] أن مبيعات الهواتف الذكية في الربع الأول من عام 2006 ازدادت في أوروبا الشرقية وإفريقيا والشرق الأوسط ضعف ازديادها في أوروبا الغربية. ويتوقع المحلِّلون الصناعيون أن بعض الدول النامية سوف تختار التخلِّي عن إقامة بنية تحتية سلكية للإنترنت، وسوف تُحدِّث بدلا منها شبكاتها الرقمية اللاسلكية، وتروِّج الهواتف الذكية باعتبارها حواسيب رخيصة الثمن. فالاتصالات اللاسلكية يمكن أن تكون أرخص بناء وصيانة (وأسهل مراقبة وسيطرة عليها من المنظور الأمني).

فإذا ثبتت صحة هذه التنبؤات، فإنه يمكن للهواتف الذكية أن تمثِّل في المستقبل القريب معظم حواسيب العالم. ويمكن لعدد كبير من المستخدمين الذين يمتلكون خبرة قليلة في الحاسوب، أو لا يمتلكون شيئا منها، أن يجوبوا الوِب ويتشاركوا الملفات بهواتفهم؛ وبذلك يوافرون لصنّاع البرمجيات الخبيثة الجوالة هدفا غافلا كبيرا جدا.

إن أحد الدروس المستقاة من الڤيروسات الحاسوبية هو أنه كلما كان الهدف أكبر كان إغراؤه للمبرمجين الأشرار أشد. فمعظم البرمجيات الحاسوبية الخبيثة لا يعمل إلا مع نظام التشغيل ويندوز من مايكروسوفت الواسع الانتشار. وللسبب نفسه، فإن جميع الديدان وأحصنة طروادة الجوالة تقريبا التي أُطلقت حتى الآن تصيب نظام التشغيل سيمبيان Symbian الذي يُشغِّل نحو 70 في المئة من الهواتف الذكية في مختلف أنحاء العالم، ومنها هواتف صنعتها الشركات نوكيا وسامسونگ وسوني إريكسون وموتورولا. ومقارنة، فإن أنواعا قليلة فقط من البرمجيات الخبيثة تصيب الأجهزة PocketPC و Windows Mobile من الشركة مايكروسوفت والأجهزة Treo من الشركة بالم والأجهزة BlackBerry من الشركة موشن. لذا فإن الانحياز نحو النظام سيمبيان يفسر جزئيا سبب شيوع البرمجيات الخبيثة الجوالة في أوروبا وجنوب شرق آسيا، حيث ينتشر نظام التشغيل ذاك. أما في أمريكا الشمالية واليابان وكوريا الجنوبية فهي نادرة. فقد وزَّعت شركات الهاتف الخلوي في شمال أمريكا أسواقها توزيعا متساويا تقريبا بين مختلف الأجهزة. أما أسواق اليابان وكوريا الجنوبية فقد سيطرت عليها مدةً طويلة الهواتف المعتمدة على نظام التشغيل لِنُكس Linux، إضافةً إلى أن الشركات هناك تُقيِّد

دليل البرمجيات الخبيثة(*)

وسائل الاختلاس الرقمي(2) phishing scam

صفحة وب زائفة، أو بريد إلكتروني، أو رسالة نصية تُغري الغافلين كي يكشفوا عن كلمات سرهم وتفاصيلهم المالية وبياناتهم الخاصة.

برمجيات التجسُّس spyware

برمجيات تكشف عن معلومات خاصة بالمستخدم أو النظام الحاسوبي لمسترقي السمع.

حصان طروادة torjan horse

برنامج يبدو مفيدا لكنه يحتضن فعلا كودا خبيثا خفيا.

الڤيروس virus

هو في الأصل كود حاسوبي يحشر نفسه في برنامج آخر ويتكاثر أثناء عمل برمجيات الحاسوب المضيف. وتُستخدم هذه الكلمة حاليا مصطلحا عاما يشمل أحصنة طروادة والديدان أيضا.

الدودة worm

كود ذاتي التكاثر ينتشر تلقائيا عبر الشبكة.

(*) A Malware Primar

(1) nondiscoverable

(2) phishing، أي المخادعة للحصول على معلومات مالية بتلفيق معلومات عن حساب مصرفي أو بطاقة ائتمانية باستخدام بريد إلكتروني زائف. (التحرير)

تشريحُ لهجوم(*)

حتى الشخص الذكي يمكن أن يقع فريسة لدودة جوالة حسنة التصميم من قبيل CommWarrier. لقد شوهد نحو 15 نوعا من هذا البرنامج الخبيث منذ اكتشافه في الشهر 2005/3. تستغل هذه الدودة واجهة تخاطب المستخدمين الخاصة بالبلوتوث لإقناع الضحايا بتثبيت البرنامج الخبيث في هواتفهم. وحينما تصبح عاملة، تستطيع الانتشار بسرعة عبر وصلات البلوتوث والرسائل الصوتية والمرئية وبطاقات الذاكرة.

1 حينما ركب <حمال> في الحافلة، رن هاتفه الذكي. ولكن يوجد في الحافلة هاتف آخر يحمل الدودة CommWarrior.Q التي تحاول إرسال نسخة من نفسها إلى هاتف <جمال> عبر البلوتوث.



2 ينبه الهاتف <جمال> إلى أنه سيستقبل ملفا، ويطلب موافقته على قبول الاستقبال.



4 يرغب <جمال> في إجراء مكالمة عاجلة، ولذا يوافق في النهاية على طلب الاستقبال وعلى طلبات التركيب والاستعلامات الأمنية اللاحقة. ويصير الآن هاتف <جمال> مصابا. فإذا وضع بطاقة ذاكرة هاتفه في هاتف آخر لنقل تطبيق ما، فسوف تنتقل العدوى إلى الجهاز الثاني.



5 تبدأ الدودة CommWarrior.Q في البحث عن أجهزة بلوتوث أخرى في الجوار لنسخ نفسها إلى أي جهاز تجده، وأحيانا إلى عدة أجهزة في آن واحد.



7 ترسل الدودة الآن نسخَ وسائط متعددة[1] من نفسها إلى كل رقم خلوي في دفتر عناوين <مريم>، إضافة إلى رسالة نصية مؤلفة ببراعة من رسائل كانت <مريم> قد أرسلتها.



8 وفي كلّ مرة تجيب فيها <مريم> عن رسالة نصية، تُلحق الدودة CommWarrior.Q بالإجابة رزمة وسائط متعددة مصابة. وتتقاضى شركة الهاتف الخلوي التي تشترك <مريم> فيها أجرا عن كل رسالة ترسلها، وهذا يُضخّم فاتورتها.

(١) MMS

(*) Anatomy of an Attack

3 يجيب <جمال> مشتبها «لا». لكن الهاتف يرن ويتكرر السؤال. ومادام <جمال> يجيب بـ «لا»، فإنه لا يستطيع إجراء مكالمة أو إرسال رسائل أو استخدام أي برنامج في هاتفه.



6 وحينما يُرسل <جمال> رسالة نصية إلى <مريم>، تُرسل الدودة فورا إليها ملف وسائط متعددة ملحقا يحتوي على نسخة منها باسم يبدو منطقيا. وحينما تفتح <مريم> الرسالة، تنتقل العدوى إلى هاتفها.



أنواع التطبيقات التي يمكن للمستخدمين تثبيتها في أجهزتهم تقييدا صارما.

وسوف تكون شركات الهاتف الخلوي حكيمة إذا بدأت بتثقيف زبائنها حول كيفية تحديد الڤيروسات الجوالة وتجنبها عوضا عن الانتظار حتى تتحول الإصابة بها إلى وباء. وعلى صنّاع الهواتف تزويدها ببرمجيات مكافحة الڤيروسات باعتبارها جزءا من برمجياتها، تماما كما يفعل صنّاع الحواسيب حاليا. ويمكن للمشرِّعين وشركات الهاتف المساعدة على تجنب مشكلة وحدانية نظام التشغيل التي تؤذي الحواسيب، وذلك بتشجيع مجتمع متنوِّع من الهواتف الذكية لا يُهيمن فيها نوع وحيد من البرمجيات على السوق.

من الركلات إلى الجريمة(*)

لكن التنوُّع ليس حكرا على البرمجيات المفيدة فقط. فالبرمجيات الخبيثة تتحوّل أيضا إلى أنواع جديدة تهاجم وتخرِّب البرمجيات المفيدة بطرائق متنوِّعة دائمة الانتشار. لقد انضمت إلى الڤيروسات الحاسوبية الأولى لاحقا أحصنة طروادة وديدان وبرمجيات تجسُّس، وحديثا جدا انضمت هجمات الاختلاس الرقمي. ومنذ عام 2003، كان كثير من البرمجيات الخبيثة الجديدة التي ظهرت في الحواسيب قد كُتب بهدف الربح بدلا من مجرد الأذى. فعصاباتُ الجريمة الحاسوبية المنظمة تعمل حاليا في مختلف أنحاء العالم. ويستخدم اللصوص البرمجيات الجرمية لكسب المال بسرقة البيانات المالية وأسرار الأعمال والموارد الحاسوبية. ويشكِّل صنّاع السپامات «شبكة إنسالات(1) برمجية(2)» في الحواسيب المستولى عليها لإرسال البريد الإلكتروني الكمّي(3) ووسائل الاختلاس الرقمي. ويستلب المبتزّون المال باللجوء إلى التهديد بالتخريب الرقمي أو الحصار الشبكي الذي يُغلِق موقع الشركة على الوب أو مخدِّمات بريدها الإلكتروني. وفي بعض البلدان، لا يمكن معرفة المجرمين الحاسوبيين، لأن السلطات تفتقر إلى الخبرة التقنية أو الموارد أو الرغبة في وضع قوانين لمكافحة الجريمة الحاسوبية.

ومع تزايد كتابة الڤيروسات بهدف الربح، يتفاقم أيضا احتمال الهجمات الضارية من قِبَل البرمجيات الخبيثة الجوالة. ففي الواقع، كلُّ مكالمة هاتفية تُجرى وكلُّ رسالة نصية أو صوتية أو مرئية تُرسل، هي عملية مبادلة مالية أيضا، وهذا يُعطي اللصوص الجشعين ومؤلِّفي الڤيروسات فيضا من فرص الكسب المكنة. إن الحواسيب لا تحتوي على نظام محاسبة، لكن الهواتف الجوالة تحتوي على ذلك النظام. ولن يمضي وقت طويل قبل استغلال الأشرار لهذه الميزة.

وقد قام بذلك فعلا شخص واحد على الأقل. فأحد أحصنة طروادة ويُدعى RedBrowser يرسل سلسلة مستمرة من الرسائل النصية من أيِّ هاتف يُصاب به إلى رقم هاتفي في روسيا حتى يُغلق المستخدم هاتفه. ويترتّب على مالك الهاتف المصاب عن كل رسالة يُرسلها رسمٌ وفق تعرفة إضافية يساوي نحو خمسة دولارات، وهذا يؤدي إلى تكاليف كبيرة لا مناص للضحية البائسة من دفعها. وبعض شركات الهاتف الخلوي تعتبر زبائنها مسؤولين عن هذه العمليات المالية غير المشروعة، ولذا، يستطيع المجرمون الذين يمتلكون الرقم الهاتفي ذا التعرفة الإضافية قبض الرسوم حين تحصيلها. ومن حسن الطالع أن هذا الڤيروس لم يُرَ حتى الآن إلا في روسيا.

في هذه الأثناء، بدأ مزوِّدو الخدمات في أسواق أمريكا الشمالية بطرح **المحافظ الجوالة** mobile wallets. وسوف يتمكن الزبائن من استخدام هذه الهواتف لتحويل الأموال من حساباتهم إلى حسابات آخرين بإرسال رسائل نصية ذات صيغة معينة. وتقدِّم PayPal [وهي شركة تقبل الدفعات المالية الرقمية] خدمة مشابهة تتيح للزبائن الشراء باستخدام هواتفهم. إن مثل هذه الخدمات يمكن أن تكون شديدة الأهمية لمؤلِّفي البرمجيات الخبيثة.

لذا، مع تزايد تطوُّر البرمجيات الخبيثة والقدرات التقنية والمالية للهواتف، سوف يكون لزاما علينا التحرك بسرعة في السنوات القليلة القادمة. فالعمل حاليا يمكن أن يُحبط البرمجيات الخبيثة الجوالة وهي في مهدها وفي الوقت الذي ما زالت فيه خدمات الهواتف الذكية مرنة نسبيا في تصميمها. لكن نافذة الفرص تلك لن تبقى مفتوحة طويلا.

(*) From Kicks to Crime

(1) robots ومفردها إنسالة وهي نحت من إنسان-آلي، والصفة منها إنسالي robotic؛ والإنسالِيَّة robotics.

(2) botnet، مجموعة من الإنسالات البرمجية التي تعمل منفردة. ويستطيع مُنشئ المجموعة التحكم فيها من بُعد لأغراض غير نزيهة غالبا.

(3) bulk e-mail



لا تحتوي الحواسيب على نظام للفَوْتَرة[1]، أما الهواتف فتحتوي على مثل هذا النظام. ولن يمضي وقت طويل قبل استغلال الأشرار لهذه الميزة.

المزيد من الأخطار أمامنا[*]

يتضح سبب الاستعجال حينما يستعرض المرء الطرائق التي يمكن للعابثين الأذية بها باستخدام الهواتف الذكية، والتي لم يستخدموها حتى الآن. ففي الحواسيب الشخصية، كثير من أشد المؤذيات سوءا انتشر عبر البريد الإلكتروني، أو أجبر الحواسيب على ضخ سپامات (بريد دعائي كمي) إلى الإنترنت. أما البرامج الضارة التي أطلقت حتى الآن للهواتف الذكية، فلم يستفد أيٌّ منها من قدرات تلك الأجهزة على إرسال بريد إلكتروني. لكنْ لن يمضي وقت طويل قبل ظهور برمجيات خبيثة تستطيع الانتشار بوصفها ملحقات بريد إلكتروني أو تستطيع تحويل الهواتف إلى إنسالات إرسال للسپامات.

أما برمجيات التجسس فتمثل مشكلة متفاقمة أخرى في عالم الحواسيب. فاحتمال وصول هذه البرمجيات إلى الهواتف للقضاء على الخصوصية أمر جلي. ولم يُصادَف من هذه البرمجيات إلا القليل حتى الآن، ويُدعى أحدها FlexiSpy، الذي يُرسِل دوريا وخلسة سجل مكالمات الهاتف ورسائله الموسيقية والڤيديوية المرسَلة والمستقبَلة إلى طرف ثالث. لكنْ على مسترق السمع الوصول إلى جهاز الهاتف فيزيائيا لتحميل وتثبيت ذلك البرنامج التجسسي فيه.

ولكن قد لا يمضي وقت طويل قبل أن يُدخل العابثون هذا النوع من التجسس في ڤيروسات تتكاثر ذاتيا. لذا، ونظرا لظهور هواتف جديدة تتمتع بالقدرة على تسجيل الصوت، فإن على الشركات الصانعة أن تعتني عناية كافية لكي تضمن أن هذه الخصائص لا يمكن أن تُستغل بسهولة من البرمجيات الخبيثة وتمكّنها من تسجيل المكالمات ثم توجيهها إلى جاسوس.

وثمة حقيقة مفاجئة وهي أنه ليس من بين ما يزيد على الثلاثمئة نوع من البرمجيات الخبيثة الجوالة التي أُطلقت حتى الآن ما يستغل أخطاء البرمجة أو عيوب التصميم الأمنية لحشر نفسه في جهاز غير منيع. إن هذه طريقة شائعة منذ مدة طويلة للڤيروسات وأحصنة طروادة الحاسوبية.

وبدلا من ذلك، اعتمد كتّاب البرمجيات الخبيثة حتى الآن كليا على «الهندسة الاجتماعية»؛ أي على خداع المستخدمين بجعلهم يسمحون بإرادتهم بتثبيت البرنامج الخبيث في هواتفهم. فبعض تلك البرامج يموِّه نفسه على شكل وسيلة مفيدة أو لعبة مرغوب فيها. أما بعضها الآخر، وبخاصة البرنامجين كابير وComm-Warrior اللذين ينتشران عبر البلوتوث، فلا يفعل ذلك. إن كثيرا من الناس يقبلون الملفات حتى عندما يحذرهم الجهاز من الخطر الأمني ويعطيهم فرصة لرفض البرمجيات الغريبة.

لقد سألتُ، وباحثون آخرون، أناسا وقعوا ضحية لمثل هذه الڤيروسات: لماذا نقرتم على «نعم»؟ وكان الجواب عموما أنهم لم يفعلوا ذلك في البداية، فقد اختاروا «لا». لكن السؤال ظهر ثانية على الشاشة. إن الدودة، كما ترى، لا تقبل «لا» جوابا، ولا تترك مجالا للمستخدم لفتح قائمة الخيارات وإيقاف البلوتوث [*انظر الإطار في الصفحتين 20 و 21*]. ومن سوء الطالع أنه حتى الإصدارات الحديثة من معظم الهواتف الذكية تسمح باعتداء البلوتوث المتكرر الذي يحرِم الشخص من استخدام الهاتف إلى أن يقبل استقبال الملف (أو إلى أن يخرج من مجال تغطية الجهاز المصاب الذي يرسِل الطلب، لكن قلة من الناس تعلم أنها تمتلك هذا الخيار).

استباق المشكلة[***]

إن الأمل الوحيد لمنع البرمجيات الخبيثة الجوالة من تخريب أداء الهواتف الذكية وتخفيض قيمتها هو اتخاذ إجراء سريع وحاسم من قِبَل جميع المعنيين. إن برمجيات مكافحة الڤيروسات المتاحة حاليا من كثير من الشركات تستطيع تحصين وتطهير الهواتف الذكية من الڤيروسات. لكن قلة من المستخدمين تستخدم مثل هذه الحماية، وهذا يجب أن يتغيَّر.

ويجب أن تحتوي الهواتف أيضا على جدران نار[2] تحذِّر المستخدم حينما يسيطر برنامج ما على المبادرة لإقامة اتصال بالإنترنت، وهذا شيء مهم وبخاصة لحماية الهواتف الذكية التي تستطيع الاتصال بالشبكات WiFi (التي تدعى أيضا 802.11)، ومنها مباشرة بالإنترنت. إن كثيرا من

بعض برمجيات حماية الهواتف الذكية[**]

الشركة	اسم البرنامج	نظام التشغيل المدعوم
F-Secure	Mobile Anti-Virus	PocketPC, Symbian, Windows Mobile
	Mobile Security	Nokia Communicators
McAfee	VirusScan Mobile	PocketPc, Symbian, Windows Mobile
Symantec	AntiVirus for Handhelds	Palm, PocketPc, Windows Mobile
	Mobile Security	Symbian
Trend Micro	Mobile Security	PocketPC, Symbian, Windows Mobile

(*) More Dangers Ahead
(**) Some Protective Software for Smartphones
(***) Staying a Step Ahead
(1) billing system
(2) fire-walls

شركات الهاتف الخلوي تُخضِع الحركة ضمن شبكات البيانات GPRS[2] و UMTS[3] التي تستخدمها أجهزتها الجوالة إلى سيرورة ترشيح شديد. أما الشبكات WiFi المفتوحة فلا تستخدم مثل هذه الحماية. ولذا، على غرار بعض شركات الهاتف التي ترشِّح فعلا حركة التراسل المتعدد الوسائط (MMS) عندها لإزالة الرسائل التي تحمل ملحقات خبيثة، فإن على الجميع فعل ذلك.

لقد انضم بعض شركات صناعة الهاتف الكبرى إلى **مجموعة الحاسوب المؤتمنة (الموثوقة)** Trusted Computing Group التي عملت على وضع مواصفات صناعية قياسية لدارات إلكترونية ميكروية (صغرية) ضمن الهواتف تُعيق وصول البرمجيات الخبيثة إلى معلومات حساسة في ذاكرة الجهاز أو الاستيلاء على آلية الدفع المالي فيها. وقد أطلقت الشركة سيمبيان أخيرا إصدارا جديدا من نظام تشغيل ذي أداء محسَّن لحماية الملفات المهمة، ويتطلب من مؤلِّفي البرمجيات الحصول على **شهادات رقمية**[4] من الشركة. إن نظام التشغيل الجديد من سيمبيان يرفض تثبيت البرامج غير المرفقة بشهادة، وإذا لم يوقِف المستخدم عمل نظام التشغيل هذا، فإن النظام يرفض بكفاءة جميع البرمجيات الخبيثة الجوالة التي اكتُشفت حتى الآن.

ويمكن للحكومات أيضا أن تؤدي دورا أشد كفاءة مما فعلته حتى الآن. صحيحٌ إن معظم الدول سَنَّت قوانين لمكافحة اختراق الحواسيب العادية والحواسيب الموجودة ضمن الهواتف الخلوية، إلا أن تطبيق تلك القوانين ليس صارما أو غير قائم في معظم أنحاء العالم. وكثير من أشد الأمم تضررا من هجمات البرمجيات الخبيثة الجوالة، مثل ماليزيا وإندونيسيا والفلبين، لا تَجمع دائما الإحصاءات الموثوق بها في الوقت المناسب للمساعدة على ملاحقة الجرائم البرمجية.

من جانبنا، درس الفريق العامل معي، إضافة إلى آخرين من أسرة البحث الأمني، على نحو فعال نظامَي التشغيل Symbian وPocketPC، وذلك بحثا عن مواطن ضعف في كودهما وفي تصميمهما قد تُوافر منفذا للبرمجيات الخبيثة. ونأمل العثور على هذه الثغرات بحيث يمكن إصلاحها قبل أن يستغلها الأشرار في الجولة الحتمية القادمة من هذه الحرب المستمرة. ■

دليل البرمجيات الخبيثة الجوالة[*]

الاسم	النوع وطريقة العدوى	المفاعيل[1]
كابير Cabir (اكتُشف في الشهر 2004/6)	دودة. تتصل بأجهزة بلوتوث أخرى وتُرسل إليها نسخا من نفسها.	بحث دائم عن بلوتوث. تفريغ بطارية (مدخرة) الهاتف.
CommWarrier (اكتُشف في الشهر 2005/3)	دودة. تتكاثر عبر البلوتوث، وترسل نسخا من نفسها على شكل ملفات وسائط متعددة إلى أرقام موجودة في دفتر عناوين الهاتف، وتجيب تلقائيا عن الرسائل النصية القصيرة ورسائل الوسائط المتعددة الواردة. تضع نسخة من نفسها في بطاقة الذاكرة القابلة للإزالة وتحشر نفسها في ملفات تثبيت تركيب البرامج في الجهاز.	يتكبد بعض المستخدمين رسما عن كل ملف وسائط متعددة تُرسله الدودة. تُعطِّل بعض أشكال الدودة الجهاز كليا.
Doomboot (اكتُشف في الشهر 2005/7)	حصان طروادة. ينتحل صفة لعبة الڤيديو Doom 2، مغريا المستخدمين باستقباله وتركيبه لديهم.	يمنع الهاتف من الإقلاع ويُرسي فيه البرنامجين Cabir و CommWarrier.
RedBrowser (اكتُشف في الشهر 2006/2)	حصان طروادة. وصفٌ خادع في موقع شبكة يَعرض كثيرا من البرامج القابلة للتحميل (التنزيل) ويُغري المستخدمين بتركيب هذا البرنامج المكتوب باللغة جافا الذي يعمل في مئات من النماذج الهاتفية.	يرسل خلسة سلسلة من الرسائل النصية بتعرفة مخصوصة تساوي 5 دولارات لكل منها إلى رقم هاتفي في روسيا.
FlexiSpy (اكتُشف في الشهر 2006/3)	برنامج تجسُّس. يحمَّل من الإنترنت، ويُركَّبه عادة في الجهاز شخص غير مالكه.	يُرسل سجل مكالمات الهاتف ونسخا من الرسائل النصية ورسائل الوسائط المتعددة إلى مخدِّم إنترنت تجاري ليطلع عليها طرف ثالث.

(*) A Besting of Mobile Malware
(1) effects
(2) General Packet Radio Service، أي خدمة الرزم الراديوية العامة، وهي تقانة تقع بين جيلي الهاتف الخلوي الثاني والثالث.
(3) Universal Mobile Telecommunications System، أي النظام العام للاتصالات الجوالة، وهو نظام يمثل قفزة نوعية من حيث السعة وسرعة المعلومات والخدمات مقارنة بجيل الهاتف الخلوي الثاني.
(4) digital certificates، وهي أداة تعريف تعموية (تشفيرية) يمكن التحقق منها إلكترونيا، وتُستخدم عادة في عمليات الاستيقان وتحديد الهوية. (التحرير)

المؤلف

Mikko Hypponen

هو كبير الباحثين في F-Secure، وهي شركة للأمن الحاسوبي في هلسنكي تقدم الاستشارات لصنّاع الهواتف الخلوية وشركات تشغيل الشبكات الخلوية. وقد قام فريقه المتخصص بمكافحة الفيروسات بتحديد ومكافحة عشرات الفيروسات في الخمس عشرة سنة السابقة التي عمل خلالها في الشركة F-Secure، ومن بين تلك الفيروسات الدودة الخبيثة LoveLetter في عام 2000. وبصفته مشاركا في تأليف كتابين عن أمن الحاسوب، فقد ساعد على إجراء تحقيقات قامت بها الشركة مايكروسوفت ومكتب التحقيقات الفدرالي الأمريكي والاستخبارات الأمريكية واسكتلنديارد ببريطانيا.

مراجع للاستزادة

Mobile Phones as Computing Devices: The Viruses Are Coming! David Dagon, Tom Martin and Thad Starner in *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 3, No. 4, pages 11–15; October–December 2004.

Mobile Phones: The Next Frontier for Hackers? Neal Leavitt in *Computer*, Vol. 38, No. 4, pages 20–23; April 2005.

Mikko Hypponen and his teammates blog at **www.f-secure.com/weblog/**

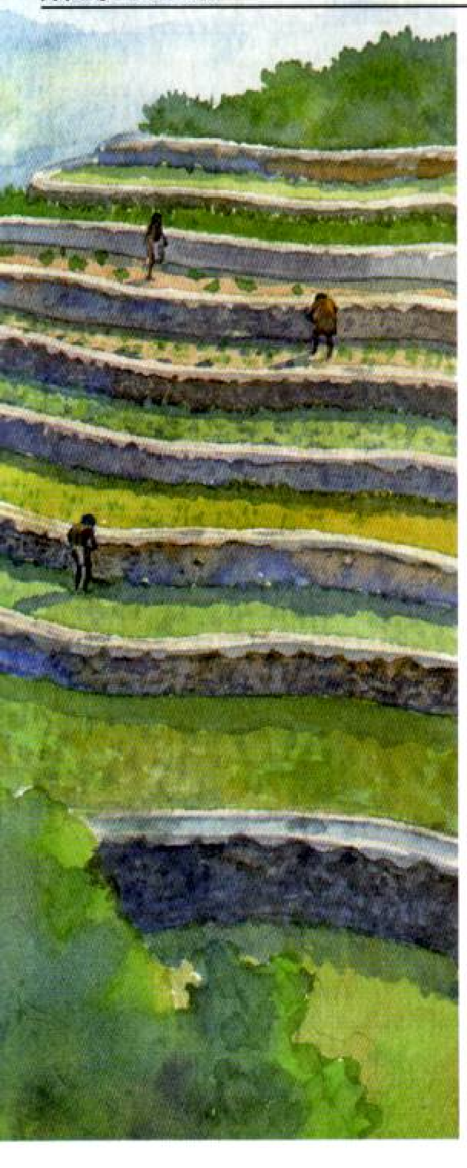
Trusted Computing Group: **www.trustedcomputinggroup.org/groups/mobile**

Scientific American, November 2006

مجلة العلوم

المجلد 23 ـ العدد 1
يناير/كانون الثاني 2007

Majallat
AlOloom



الهندسة الهدروليكية في المكسيك ما قبل التاريخ(*)

قبل ثلاثة آلاف سنة، شيد أسلاف الأزتكس في العالم الجديد المنظوماتِ الأولى لإدارة المياه على نطاق واسع.

<Ch. كاران> ـ <A. J. نيلي>



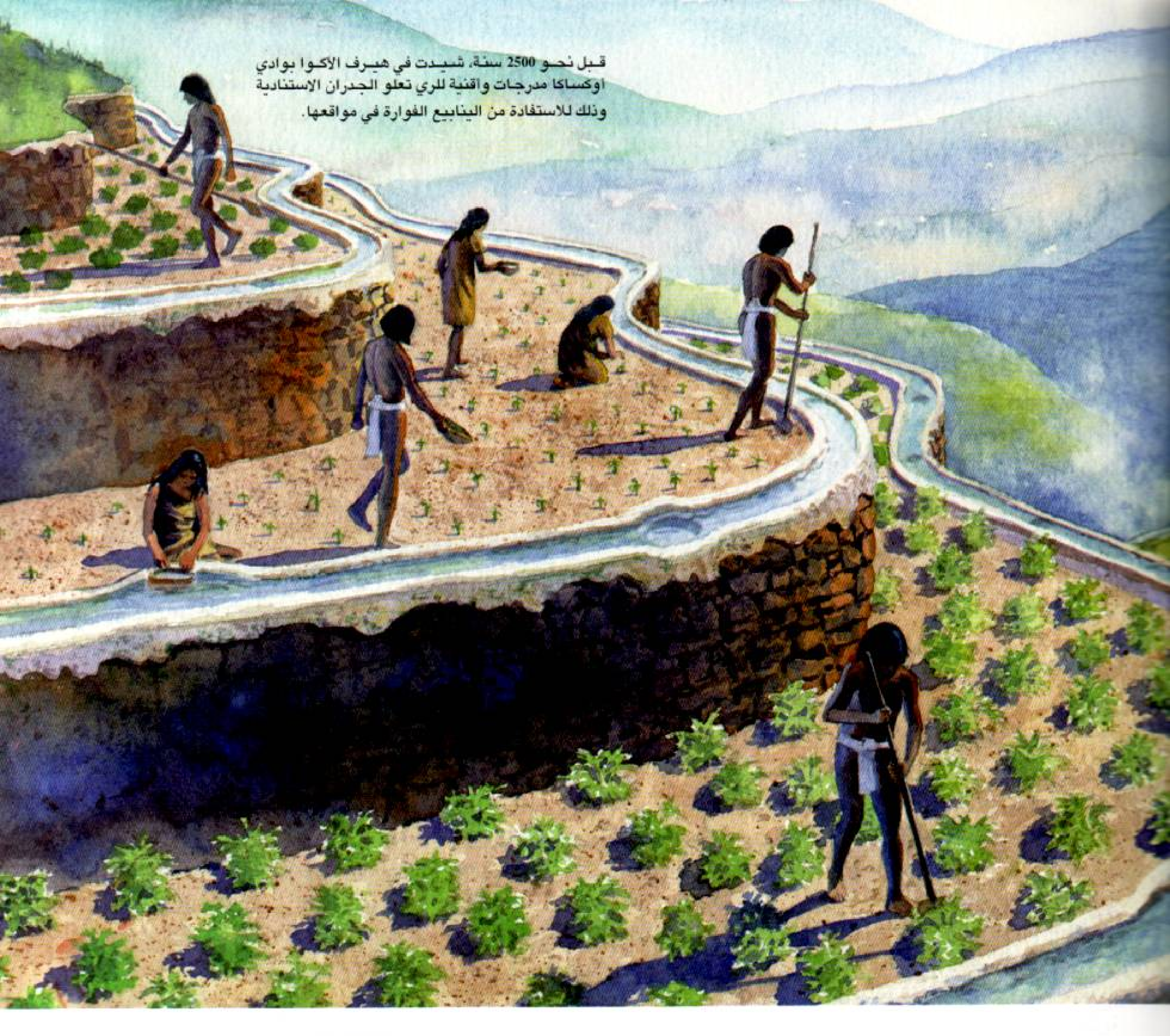
كان المزارعون في جنوب المكسيك ما قبل التاريخ يتوقون حتما إلى حدوث أعجوبة، فبفضل المناخ المداري تكاد تكون أوديتهم الخصبة نموذجية للزراعة على الرغم من ارتفاعاتها التي تصل إلى 2000 متر، فالأمطار الغزيرة تضمن محاصيل وافرة خلال موسم **المونسون** monsoon الذي يدوم ستة أشهر. فتحت هذه الظروف المواتية أصبحت هذه المنطقة مهد الزراعة في العالم الجديد ومكان ولادة الذرة. ومع ذلك واجه المزارعون الأوائل أحد المحددات التي تعيق الزراعة خلال نصف عام يسود خلاله المناخ الجاف. فحقولهم المحروثة يدويا يمكن أن تعطي محصولين، أو حتى ثلاثة محاصيل، فيما إذا توافرت لهم إمدادات مائية على مدار السنة، ولكن كيف يمكن أن يحصل المزارعون على المزيد من المياه؟

لم يكن الحل أعجوبة، بل عبقرية بشرية مدهشة تتمثل في مشروعات هندسية على مقياس كبير تم تصميمها لتخزين المياه ونقلها، فابتداء من أعمال متواضعة تركت آثارا ضئيلة توسعت المنشآت إلى مقاييس عملاقة. فعلى سبيل المثال، تم بناء سد بورون على وادي <تيهواكان> بدءا من نحو 750 قبل الميلاد بطول 400 متر وعرض 100 متر وارتفاع نحو 25 مترا. وقد قام العمال بنقل 2.64 مليون متر مكعب من الأتربة يدويا، حيث كان يجري نقل عدة كيلوغرامات من الأتربة في كل مرة. وربما بقي هذا السد أكبر منشأة مائية تخزينية حتى القرن الثامن عشر. وعلى مقربة منه، أنشأ المهندسون القدامى آلاف الكيلومترات من الأقنية المائية، منها أقنية على سطح الأرض cannals، وبعضها الآخر عبارة عن أقنية محمولة على جسور ترتفع في الغالب فوق سطح الأرض بواسطة أعمدة[1]. وقد أقيمت هذه المنشآت قبل وصول الأوروبيين إلى المكسيك بألفي عام. لقد قاموا بتحويل المياه من الينابيع والجداول وتم استجرارها عبر خطوط تقسيم الأحواض المائية وحول الوديان السحيقة وعلى المنحدرات الشديدة الميل. وثمة مبتكرات أخرى لتجميع مياه الأمطار من الأبنية والساحات. فشعوب جنوبي المكسيك استثمرت عمليا كافة المصادر المائية المتاحة في بيئتهم.

وإن بقاء العديد من منشآت الري ومنشآت تجميع المياه فترة تراوح بين 1500 ونحو 3000 سنة هي شواهد على المستوى الرفيع لتصميم هذه المنشآت وتشييدها، فهذه المنجزات تتميز بروعتها وكونها استثنائية على كافة المقاييس: كما أنها متميزة بشكل خاص، نظرا إلى أنه لم يتوافر لدى البنائين أدوات معدنية ووسائل نقل تعتمد على العجلات أو الحيوانات لحمل الأثقال. وحتى أكثر المعالم قدما ممازال قائما، يمثل مستوى عاليا من الإبداع التقاني ويدلل على إدارة رفيعة المستوى قادرة على صيانة

(*) HYDRAULIC ENGINEERING IN PREHISTORIC MEXICO

(1) تم التمييز بين ثلاثة أنواع من الأقنية: tecoatles؛ aqueducts؛ cannals. وقد ترجمت في هذه المقالة باستخدام التعابير: الأقنية السطحية، الأقنية المحمولة، والأقنية الحجرية. **فالأقنية السطحية** cannals هي المجاري المائية المحفورة في التربة والمبطنة في الغالب، إلا أنها تبقى بمستوى سطح الأرض. أما **الأقنية المحمولة** aqueducts فهي أقنية محمولة على جسور ترتفع عن سطح الأرض بواسطة أعمدة وتتبع في الغالب مسارا مستقيما حتى في مجاري الوديان. وعلى نقيض ذلك تشكل الأقنية الحجرية مسارا يتلوى كالحية، لذا أطلق عليها في المكسيك اسم «**تيكوتل**» tecoatle، وتعني بالإسبانية «الحية الحجرية». وقد تشكلت هذه الأقنية بفعل تراكم الترسبات الكلسية (الترافرتين) من مياه الينابيع وتصلبت لتصبح أقنية حجرية مرتفعة فوق سطح الأرض. (التحرير)



قبل نحو 2500 سنة، شيدت في هيرف الأكوا بوادي أوكساكا مدرجات وأقنية للري تعلو الجدران الاستنادية وذلك للاستفادة من الينابيع الفوارة في مواقعها.

هذه البنية التحتية الضخمة. ومع أنه تم اكتشاف منظومات قبتاريخية[1] لإدارة المياه في عدة مواقع في المكسيك، فإن نظرة متأنية إلى اثنين منها ـ الأقنية الواسعة الامتداد في وادي تيهواكان وشبكة ري المدرجات في وادي أكساكا، وهي من الضخامة لدرجة تفوق الخيال ـ تلقي الضوء على العبقرية الفذة للمهندسين الهدروليكيين القدامى.

لقد بدأت التحريات المعاصرة في هذين الموقعين في عقد الستينات وبداية عقد السبعينات عندما أجريت أعمال مسح أساسية بإشراف عالمين يعتبر كل منهما أحد الرموز الأسطورية في مجال علم الآثار: <R. S.> ماكنيش> (<سكوتي>) في وادي تيهواكان و<K. V.> فلانيري> (<نيلي>) في وادي أكساكا. أحدنا (<نيلي>) كان عندها فتيا وطالبا في مرحلة الدراسات العليا متمتعا بامتياز المشاركة في كلتا الدراستين. ولم يكن موضوع إدارة المياه محورا أساسيا لأي منهما. ومع أن أهمية هذه المنظومات كانت واضحة حينذاك، فإن ثغرة طويلة الأمد تلت التقييم الأصلي الذي كان هزيلا متواضعا بحد ذاته. بيد أنه استمر شغف <نيلي> بموضوع إدارة المياه في مرحلة ما قبل التاريخ. وفي نهاية عقد الثمانينات وجه دعوة للجيولوجي <كاران> (المؤلف الآخر لهذه المقالة) لينضم إليه في إجراء تحليل أكثر عمقا لتلك المنشآت المائية. وقد كانت مكتشفاتنا كما سنرى لاحقا.

الأقنية العادية والأقنية المحمولة والتيكوتل(*)

لقد تبين أن شبكة أقنية جنوب المكسيك هي كبرى منظومات إدارة المياه التي شيدت في مرحلة ما قبل التاريخ في العالم الجديد. فمجموع أطوال هذه الأقنية يتجاوز 1200 كيلومتر. وقد وُفِّرت المياه لأراض زراعية تبلغ مساحتها 330 كيلومتر مربع ـ منطقة تقارب مساحتها مساحة قطاع غزة ـ وقد أُنجز هذا العمل قبل 2500 سنة. فالقائمون على الري

(*) Canals, Aqueducts and Tecoatles

(1) هي مقابل prehistoric، وقد استخدم التعبير الأطول (ما قبل التاريخ) في معظم المقالة لأنه الأكثر قبولا. (التحرير)

شيدت منظومات إدارة المياه في فترة ما قبل التاريخ في مواقع مختلفة منتشرة في جنوب المكسيك. ومن أقدم الأمثلة المعروفة بئر عمرها 10 000 سنة في سان ماركوس نيكوكستلا، وقد استمر تشييد المنظومات الأحدث نسبيا حتى فترة وصول الأوروبيين.

كونوا الأقنية بحفر **مجار** channels في التربة، وربما شيدوا **أرصفة نهرية** levees على طرفي هذه الأقنية. وكل واحدة من هذه الأقنية كانت تنقل المياه من مصدر يقع في موقع مرتفع إلى أحد الحقول الواقعة في المناطق المنخفضة. وتسلك القناة في الغالب مسارا متعرجا للمحافظة على ميل خفيف بحدود درجتين أو أقل.

لقد جرى تحويل معظم مياه الري من ينابيع كبرى، ومياه هذه الينابيع كانت غنية **بالفلزات** minerals المنحلة وبخاصة **الكالسيت** calcite، وهو أحد أشكال فحمات الكالسيوم. وأسهمت هذه الفلزات بحماية القنوات بتشكيلها غلافا مانعا للتسرب، إلا أنها شكلت على المدى البعيد خطرا على بقائها؛ فأثناء جريان مياه الينابيع في قناة ما يزداد تركيز المواد الكيميائية بفعل التبخر وتبدلات الضغط والحرارة، فتتبلور طبقة رقيقة من الفلزات على السطح الداخلي للقناة. فالفلزات التي تترسب من لتر واحد من المياه ضئيلة للغاية، بيد أن التدفق عبر القناة الرئيسية قد يتجاوز نصف مليون ليتر يوميا. لقد توضعت طبقة فوق طبقة وتصلبت لتشكل غشاء صخريا يعرف باسم التراڤرتين الكلسي[1] يشبه الصواعد والنوازل في الكهوف. تتراكم هذه الطبقات بمعدل وسطي يبلغ سنتيمترا واحدا في السنة أو مترا واحدا خلال القرن.

كانت التوضعات واسعة الامتداد لدرجة أن العديد من الأقنية أشرفت على الامتلاء في نهاية المطاف. بيد أنه استمر الجريان نظرا لترسب التراڤرتين في قاع القناة وكذلك أثناء فيضان مياهها، مما كان يؤدي إلى ارتفاع جدران القناة لتشكل حواجز تعمل بشكل عام على إبقاء المياه داخل القناة، حتى فوق سطح الأرض. واستمر الفيض من الأقنية بين الفينة والفينة فتوضعت طبقات من الفلزات بعيدا عن القناة الأصلية، وبهذه الطريقة فإن ما كان من قبل مجرى صغيرا في التربة، صار مرتفعا **متطاولا** ridge وصل ارتفاعه إلى نحو خمسة أمتار وعرضه إلى 30 مترا في قاعدته، ويعلوه قناة تمتد على خط الذرا [*انظر الشكل في الصفحة 28*]. وربما ساعدت الصيانة الدورية على أن تحافظ القناة على مقطع بشكل U ويزداد ارتفاعها باستمرار وتبقى صالحة للاستعمال.

إن الطبيعة الصخرية والأشكال المتطاولة والمتعرجة لهذه الأقنية **الأحفورية** fossilized كان الدافع ليطلق عليها اسم **تيكوتل** tecoatl وتعني «الحية الحجرية» في لغة الأزتكس. فانتشار التيكوتل لمسافات بعيدة تقاس بالعديد من الكيلومترات حولت طبيعة سطح الأرض بشكل جذري مُشكلةً حواجز كان لها تأثير في مسارات الطرق وتصاميم المدن والبلدات مما قبل التاريخ والاستعمار الاسباني حتى يومنا هذا.

ولما كانت الظروف الطبيعية لا تسمح بإنشاء الأقنية (فوق المنحدرات الشديدة على سبيل المثال)، ابتكر القائمون على الري المجاري المائية التي ترتفع فوق سطح الأرض - الأقنية المحمولة - والمبنية بعناية فائقة بأتربة مرصوصة وأحجار لا يربطها ملاط. وتعتبر هذه القنوات منشآت بسيطة إذا ما قورنت بأضخم الأقنية المحمولة الرومانية التي تعود إلى المرحلة التاريخية نفسها تقريبا.

ويعدُّ خانق[2] ريو كسيكويلا مثالا جديرا بالاهتمام. ويتميز هذا الموقع بوجود قناتين محمولتين وعلى مناسيب مختلفة فوق النهر. ويبلغ عرض كل من هاتين القناتين مترا واحدا ولهما درجة انحدار ثابتة تقريبا، على الرغم من عدم انتظام جدران الخانق. وتدل كسر فخارية معروفة من حيث النوع والقدم على عمر المنشآت. وتراوح ارتفاع القناة

نظرة إجمالية/ الري القديم[*]

- **في فترة ما قبل التاريخ، كان المزارعون في المكسيك يواجهون شُحا في المياه خلال ستة أشهر من السنة.**
- **للتغلب على العوائق التي تعترض مزاولة الزراعة في كامل السنة، قاموا بتطوير أساليب مبتكرة لنقل المياه إلى محاصيلهم. اشتملت ابتكاراتهم على السدود والآبار والأقنية السطحية والمحمولة aquiducts والحقول في المدرجات.**
- **توضح اثنتان من هذه المنظومات براعة هؤلاء المهندسين الأوائل: شبكة من الأقنية في وادي تيهواكان وحدائق المدرجات في وادي أوكساكا التي تروى من قنوات تعلو الجدران الإسنادية.**

(*) Overview/ Ancient Irrigation
(1) calcareous travertine
(2) canyon



هيرف الأكوا اليوم: ما زالت معالم الحقول القديمة واضحة في المدرجات، هنا بجوار بركة أحد الينابيع الفوارة.

المحمولة السفلى - البالغ طولها كيلومترا واحدا والتي شيدت نحو 400 بعد الميلاد - ما بين 4 و 12 مترا فوق النهر. وهذا الجزء كان عرضة لأضرار بفعل الفياضانات والانزلاقات الأرضية وتم التخلي عنه عام 700. أما القناة المحمولة العليا، التي أنشئت في الوقت نفسه تقريبا والتي بلغ طولها ستة كيلومترات وتراوح ارتفاعها ما بين 20 و 22م فوق مستوى النهر، فقد بقيت قيد الاستعمال حتى عام 1540 على أقل تقدير. لقد حملت هذه الأقنية مياها عذبة نسبيا ولم تتحول إلى أقنية أحفورية.

تُعد الأقنية التي تحجرت سجلا تاريخيا حول استخداماتها وبيناتها. وثمة محتبسات في طبقات التراڤرتين تشمل بقايا وافرة من الطحالب المائية[1] و**المشطورات** diatoms والنباتات المستنقعية الأكبر حجما والتي نمت داخل وعلى طول القناة. ونظرا لحساسية هذه الكائنات لتغيرات الشروط البيئية، ثمة إمكانية لتحديد التركيب الكيميائي السابق للمياه وحمولتها من المواد المغذية ومعدلات التدفق ودرجة صفائها. وتشمل البقايا المحفوظة داخل التراڤرتين غبار الطلع للنباتات التي كانت تزرع في الحقول المجاورة، حيث تُظهر أن الأقنية كانت تروي محاصيل الذرة و**الفلفل** peppers والطماطم (البندورة). وثمة احتمال كبير بأن **سالف العروس** amaranth، الذي يُجنى حاليا وربما في قديم الزمن، كان يزرع أو ينمو على ضفاف الأقنية كنبات بري. وقد ازدهرت **نباتات التيفا** cattails على طول الأقنية - ربما من دون زراعتها - تماما كما يحدث في الوقت الحاضر، وثمة احتمال بأن المزارعين قاموا بتجميع هذه النباتات المفيدة من أجل الغذاء والألياف و**قصبات الرماح** arrow shafts.

ونظرا لأن الأقنية كونت بيئة مائية اصطناعية، خلافا للبيئة الجافة المحيطة بها، فإننا على يقين بأن النباتات المائية التي تُشكل معظم البقايا العضوية في التراڤرتين، كانت معاصرة لفترة استخدام القناة. وقد منحتنا المادة العضوية المحفوظة فرصة فريدة إذ يمكننا استخدام الصفة المميزة للكربون المشع المرتبطة بتحديد الأعمار والتي تعتمد على الخصائص الكيميائية للكربون في الكائنات الحية، لقياس عمر الأقنية مباشرة. فعادة ما يتعين استنتاج عمر المنظومات المائية القديمة من **مواقع السكنى** habitation والأشياء المصنوعة في جوارها، علما بأن هذه الطريقة يكتنفها الغموض، لأنه ليس من الواضح دائما أن المؤشرات الزمنية كانت معاصرة لتلك المنظومات. فتحاليل الكربون المشع كانت الحل لهذه المشكلة، إذ بينت أن بعض الأقنية شيدت في سنة 800 قبل الميلاد وأن العمل في الأقنية استمر حتى أوائل القرن 15.

ريّ المدرجات[*]

على مسافة نحو 170 كيلومتر جنوب شرقي وادي تيهواكان، ثمة موقع أثري متميز في الجبال بالنهاية الجنوبية لوادي أواكساكا، يُظهر قدرة التكيف والإبداع للمهندسين الهدروليكيين المكسيكيين في مرحلة ما قبل التاريخ. لقد ساعد الري في هيرف الأكوا على استمرار الزراعة على مدى 18 قرنا على أقل تقدير، وذلك اعتبارا من 500 قبل الميلاد وحتى عام 1350. وقد توافرت مياه الري من عدد من الينابيع الكبيرة الدائمة الجريان وذات خصائص غير عادية. وتعني هيرف الأكوا بالأسبانية «الماء يغلي». والحق أن الماء ليس حارا ولكنه **مُكَرْبَن** carbonated طبيعيا، تماما كالمياه الجوفية الشهيرة المعبأة بالزجاجات في جنوب فرنسا. تحتوي المياه المُكربنة طبيعيا على كميات كبيرة من غاز ثنائي أكسيد الكربون المنحلّ فيها، ومصدر هذا الغاز: **الماكما** magma أو من تحول الحجر الكلسي

(*) Terrace Irrigation
(1) aquatic algae

تشكّل التيكوتل(*)

الحية الحجرية، أو التيكوتل، في الصورة: هي واحدة من الآلاف التي تجتاز وادي تيهواكان على نحو متقاطع. وكان أصل كل منها قناة حفرت في التربة (*انظر الرسم البياني*). وأثناء جريان مياه الينابيع في القناة توضعت ترسبات فلزية من هذه المياه مشكلة في نهاية المطاف قشرة ذات سماكة كبيرة لدرجة أن منسوب المياه في القناة ارتفع فوق سطح الأرض. وعلى الرغم من هذا التبدل في المناسيب، فإن التيكوتل استمرت في وظيفتها مرتفعة نحو خمسة أمتار وازداد عرضها فوصل عند القاعدة إلى 30 مترًا. وشكلت التيكوتل عرفا متعرجا وصل طوله إلى 15 كيلومترا.

مقطع لتيكوتل

The Formation of a Tecoatl (*)

أو من غيرها من السيرورات المعقدة. فالمياه العميقة تحت سطح الأرض هي مياه **حبيسة** confined تحت ضغوط كبيرة تحافظ على انحلال الغاز، كما هي الحال في إناء يحافظ على انضغاط مشروبات مكربنة.

توافر التشققات في صخور هيرف الآگوا مسارات تسمح للمياه الجوفية بالصعود إلى سطح الأرض بسرعة كبيرة. وإن الانخفاض الفجائي للضغط الذي يحصل إثر انبجاس المياه يشبه إزالة غطاء زجاجة صودا مهتزة: يطلق فوران المياه تلقائيا فقاعات وتتولد نوافير صغيرة الحجم، مما يجعل مياه النبع تزيد وكأنها في حالة غليان. ويكسب غاز ثنائي أكسيد الكربون الماء حموضة لدرجة تمكنه من إذابة الصخور الصلدة الواقعة تحت التربة والمؤلفة بمعظمها من الحجر الكلسي. وكما هي الحال بالنسبة إلى الترافرتين في وادي تواكان، فإن الحجر الكلسي مكون من الكالسيت، ومن ثم تحتوي مياه الينابيع في هيرف الآگوا على تراكيز عالية جدا من الكلسيوم والبيكربونات المنحلة. وهكذا فقد حافظت طبقات الترافرتين المترسبة من المياه في هيرف الآگوا على السجلات الأثرية تماما كما هي الحال في وادي تيهواكان.

إن المكان الذي يحدث فيه غليان المياه الباردة لا بد أنه أثار فضولية السكان الأوائل في المنطقة، حيث اكتشفوا أن بإمكانهم استخدام هذه المياه للري في الأشهر التي لا تجلب خلالها رياح المونسون الأمطار. ونظرا لافتقار المنحدرات الشديدة الواقعة تحت الينابيع مباشرة إلى غطاء من التربة فقد نقل المزارعون يدويا خمسة ملايين متر مكعب من الأتربة إلى هذه المواقع، لأغراض التنمية الزراعية في حقول تقع فوق المدرجات تقارب مساحتها كيلومترين مربعين. ويبدو أنهم اختاروا التربة بعناية فائقة وربما تم غربلتها للحصول على بنية مسامية متجانسة، الأمر الذي أدى إلى تحسين عملية الصرف. وفي بدء أعمال إنشاء المصاطب تم بناء جدران استنادية برصف **الحجارة بالطريقة الجافة** dry-lying stone. وقد وضعت الجدران على مسافات تم تحديد مواقعها بعناية على المنحدرات الجرداء. وتم وضع التربة خلف كل من هذه الجدران، من أجل إنشاء مصطبة ضيقة في أعلى الجدار. ومن ثم أنشأ المزارعون **قناة حائطية** wall canal صغيرة في أعلى الجدار، وقد بلغ مجموع أطوال الأقنية التي تم بناؤها وصيانتها 6.5 كيلومتر [*انظر الشكل في الصفحتين 24 و 25*].

تميزت الأقنية الحائطية بميل خفيف، مما يسمح بتحويل المياه إليها من أقنية أكبر حجما بكثير تنقل المياه من الينابيع مباشرة وتتبع انحدار الأرض. وثمة قنوات إضافية صغيرة الحجم كانت تصل ما بين النهايات السفلى للأقنية الحائطية وتعمل على إيصال المياه إلى المدرجات السفلى أو تعيد المياه إلى **قنوات الإمداد** supply canals. وأثناء جريان المياه في قناة حائطية كان يتم تجميعها في قاع القناة في أحواض دائرية ضحلة أو **بوسيتوس** pocitos وقد أنشئت هذه الأحواض كل بضعة أمتار على طول القناة. وباستخدام إناء صغير كان يحصل المزارع على المياه من البوسيتوس يدويا لسقاية النباتات التي كانت في طور النمو في المصاطب المجاورة.. يعرف هذا النوع من السقاية بالإسبانية باسم **رييكوس أبرازو** riegos a brazo، ومازالت هذه السقاية متبعة في هذه المنطقة.

إن نظرة فاحصة لهذه المدرجات تظهر روعة تصميمها. فالمسافات المنتظمة بين الجدران والمدرجات الضيقة ساعدت على تخفيض كميات التربة اللازمة لإنشائها، كما أن وجود الأقنية الحائطية والبوسيتوس بالجوار سهّل عملية السقاية. وحتى في أشد السفوح انحدارا، حيث يصل ارتفاع الجدران إلى 2.4 متر، تمت المحافظة على عرض ثابت نسبيا للمدرجات، فعرض معظمهما هو من 2.4 إلى 3 أمتار؛ أي ما يعادل امتداد ذراعين لأشخاص تراوح أطوالهم ما بين 1.4 و 1.7 متر، وهذه القيم، كما يستدل من بقايا الهياكل، تعادل أطوال المزارعين القدامى. وثمة حفر صغيرة تُسمى **حفر البكاء** weep holes في قاعدة كل من جدران المدرجات أسهمت في تحسين عملية الصرف وحفظ رطوبة التربة. وقد كانت السقاية اليدوية والصرف المناسب من الأهمية بمكان نظرا لارتفاع كمية الأملاح في





ثلاث تيكوتيلات متوازية (*في اليسار*): التيكوتيلات الأصغر هي فروع تقود إلى حقول قديمة مجاورة. وفي ما وراء الجدار الأبيض بالوسط، يمكن تتبع تيكوتل رئيسية لم يُكشف عنها باتجاه ما هو حاليا مركز مدينة تيهواكان، حيث خرّبت الطرق الحديثة (*في الأسفل*) أجزاء من القناة.





سد بورّون (*في أسفل ويمين الصورة اليمنى*) قرب بِيُبْلا في المكسيك. ويعتقد أنه أكبر منشأة تخزينية للمياه شيدت في الأمريكتين قبل وصول الأوروبيين. وقد بوشر في بنائه عام 750 قبل الميلاد واستمر البناء على مراحل حتى نحو عام 1150، عندما وصل السد إلى ارتفاع نحو 25 مترا وطول 400 متر، وقد أصاب الحت الوجه الجنوبي (*الصورة اليسرى*) بارتفاع يعادل طول رجل بطول يبلغ ست أقدام.

المياه. فإذا كانت كمية المياه أكثر مما ينبغي أو تعذر صرفها بالشكل المناسب، تتراكم الأملاح في التربة بسرعة، مما يفقدها مساميتها وتصبح قاسية لدرجة يصعب قلبها يدويا، كما لا تسمح بنمو الجذور.

وكان يجري باستمرار تبديل لمسارات المياه في كامل شبكة الأقنية لإيصال المياه إلى القنوات الحائطية عند اللزوم وفي الوقت المحدد؛ ومن ثم لم يجر تمرير كميات كافية من المياه في أي من هذه الأقنية لتصبح «تيكوتل» كبيرة. وبالمقابل يكسو الأقنية غشاء رقيق من التراڤرتين يحافظ على العديد من التفاصيل الإنشائية. وما يثير الاهتمام هو غياب البوابات أو الفتحات التي تسمح بتحويل المياه من القنوات إلى المدرجات بكميات كبيرة. إن مثل هذا النظام في الريّ المعروف باسم **نظام الغمر** flooding كان يمكن أن يؤدي إلى إكساء أو إشباع المصاطب برمتها بقشرة من التراڤرتين، و يحتمل أن يحدث ذلك إثر عدد محدود من السقايات، بيد أن المزارعين عملوا على تخفيض نسبة تراكم الأملاح في التربة باعتمادهم طريقة عالية الكفاءة مثل الري اليدوي، أسهمت أيضا بتخفيض كميات المياه اللازمة لنمو النباتات في المدرجات، إلى الحد الأدنى، ما أدى بدوره إلى زيادة المساحات المروية.

لقد اقتصرت السقاية أساسا على الفصل الجاف وخلال الجزء الآخر من السنة. وساعدت مياه الأمطار على غسل الأملاح المتراكمة في التربة المسامية. وتعززت هذه العملية بتحلل المواد العضوية داخل تربة المدرجات. وقد احتوت المواد العضوية، إضافة إلى بقايا المحاصيل غير المحصودة، على المياه العادمة وغيرها من النفايات المنزلية، التي كانت تُخلط مع التربة بشكل روتيني لتجديد خصوبتها.

إضافة إلى ذلك وجدنا أدلة حول التعديلات التي أدخلت على التربة استنادا إلى الحطام المنزلي: قطع من الفخار بأعمار مختلفة تتوافر في تربة المدرجات من الأسفل إلى الأعلى وفق تسلسل زمني. ويمكن تحديد عمر الأواني الخزفية مباشرة أحيانا باستخدام تقانات الكربون المشع، كما يمكن تحديد الأعمار بشكل غير مباشر من خلال تصنيف الأواني استنادا إلى شكلها وتركيبها ونمط ألوانها ويتم ذلك عندما نجد في الموقع أنواع معينة حددت أعمارها. وإضافة إلى توفير سجل حول ممارسات طرح النفايات، أعطت الفخاريات في موقع هيرف الأكوا فوائد أثرية غير مقصودة، حيث بينت أية أنواع من الأواني كانت قيد الاستعمال اليومي؛ ومن ثم كانت الأكثر عرضة للكسر. وبفضل ذلك تعلمنا أن السكان الذين كانوا يعملون في الحقول، كانوا يطرحون نفايات تحتوي على أوان خزفية يومية الاستعمال مع أدوات للطعام، وقد عُثر على الأواني المتميزة فقط داخل معبد صغير في هذا الموقع.

قصة بطولة تقانية(*)

إن ما يبدو نشوءا مفاجئا لتقانة ري متطورة على نطاق واسع، يبدو لغزا لأول وهلة، بيد أن الغياب الظاهري لأعمال سابقة أقل شأنا في هذا المجال قد يكون على الأرجح ناتجا من ثغرات في السجل الأثري. فاكتشافنا في عام 1993 ما قد يكون أقدم الآبار المائية في العالم الجديد يبين أن إدارة المياه قد تكون لها بداية، وإن كانت بدائية، أكثر قدما مما كان يعتقد من قبل. فالبئر تم حفرها قبل نحو 10 000 سنة بعمق خمسة أمتار وقطر يبلغ عشرة أمتار على مستوى أرض دُفنت فيما بعد. وربما بقيت هذه البئر قيد الاستعمال مدة 2000 سنة. وثمة احتمال أن تكون هذه البئر، التي تحتل موقعها حاليا قرية سان ماركوس نيكوكستلا في وادي تيهواكان، أكثر قدما من الزراعة في العالم الجديد. ومع أنه من المحتمل كثيرا ألا تكون تلك البئر قد استخدمت للزراعة، فإنها تقدم

(*) A Technological Saga

دليلا على أن إدارة المياه في هذه المنطقة بدأت، في الحقيقة، منذ أمد بعيد.

لم نعثر على أمثلة لمنشآت هدروليكية في القرون الممتدة بين فترة حفر تلك البئر وفترة ظهور الأقنية الأولى قبل نحو 3000 سنة. ولكن من المحتمل أنه تم حفر آبار صغيرة وأنشئت **هدارات** wiers مؤقتة لتحويل المياه من **الجداول** streams وغيرها من الوسائل البسيطة لتوفير المياه، خلال هذه الفترة. فالممارسات الزراعية الأولى ربما تطلبت نقل المياه لمسافة محددة أو الري على نطاق صغير باستخدام أقنية اندثرت أو لم يتم اكتشافها بعد.

بيد أنه ما زال يُطرح السؤال حول كيف تمكن مهندسو الريّ الأوائل من تصميم مسارات لأقنية تمتد عدة كيلومترات في أراض وعرة مع الحفاظ على ميل مستمر باتجاه انحدار الأرض لا يتجاوز درجتين. ففي يومنا هذا يستحيل بناء منشآت مماثلة من دون استخدام أدوات مساحية متطورة. فقدامى المصريين استخدموا **المسواة** level و**الشواخص** rods المُعايَرة، لكي يراقبوا من مسافات بعيدة. ومع أن مثل هذه الأدوات البسيطة والفعالة، كانت متوافرة لدى المهندسين في المكسيك، فإننا لا نملك دليلا مباشرا على هذه التفاصيل.

لكن لدينا فعلا إجابة جزئية حول كيفية تخطيط منظومات الأقنية. ففي مكان بعيد في وادي تيهواكان ثمة خطٌ من جلاميد صغيرة يقود بعيدا عن منعطف حاد في تيكوتل. يمتد هذا المسار باتجاه منحدر قصير لمر يقع في أحد **المرتفعات المتطاولة** ridge، ثم يستمر صاعدا على الطرف الآخر نحو نقطة أعلى بقليل تقع فوق واد صغير خال من القنوات. فالمسار المحدد بواسطة الجلاميد قد يمثل تصميما معماريا لبناء قناة مستقبلية. وإيصال المياه إلى الجانب الآخر يستلزم تمديد مسار القناة القائمة نحو الأعلى بحيث يرتفع بمقدار متر واحد قبل إنشاء الفرع الجديد. فإذا أخذ البناؤون بعين الاعتبار ظاهرة تراكم الترافرتين العادية، فإن هذا الهدف يمكن بلوغه في غضون قرن، إذ يمكن أن يقوم أحفاد المزارعين خلاله بإضافة حقل ري آخر إلى هذه المنظومة.

وثمة سؤال آخر من بين عدة أسئلة تسحر علماء الآثار يتمثل فيما إذا كان تصميم وإدارة هذه المشروعات يتم من قبل **المستفيدين** users أو من قبل سلطة مركزية. وقد طرح المؤرخ المعروف «K. A. ويتفوغل» فرضية مفادها أن استثمار وتوزيع الموارد المائية على نطاق واسع هي خطوات أساسية باتجاه نشوء الحضارات في كافة أنحاء العالم. واستنادا إلى هذا المبدأ تمكنت المجتمعات الهدروليكية دون غيرها من تحقيق منجزات تتمثل بثقافة متطورة كالزراعة الدائمة والتنوع الاقتصادي وحفظ السجلات والأجهزة الإدارية الهرمية. وقد أصبح المجتمع الهدروليكي مجتمعا متحضرا، لأن المصدر المائي الموثوق ساعد على توفير الحافز والإمكانات اللازمة لذلك. ومع ذلك فإن نقيض ذلك يبدو صحيحا: إن إقامة وصيانة بنية تحتية لإدارة المياه على نطاق واسع قد تتطلب عناية مركزة لدولة على مستوى رفيع من التنظيم. وهناك باحثون آخرون ألقوا ظلالا من الشك حول كلا الاقتراحين مشيرين إلى أن كيانات اجتماعية-سياسية صغيرة مفككة تنظيميا، يمكن أن تقوم ببناء وتشغيل منظومات مائية على مقياس متوسط على الأقل، ربما بالتعاون مع منظمات مجاورة مماثلة لكن من دون سلطة مركزية.

وثمة أدلة لكل من هذه التفسيرات. فعلى سبيل المثال، يُدار الري حاليا في وادي تيهواكان من قبل جمعيات للمياه غير حكومية تنسب إلى السكان الأصليين لهذا الوادي. وحتى يومنا هذا غالبا ما يجري توارث الحقوق المائية، وهذه ممارسة يمكن إرجاعها إلى ما قبل الفترة الاستعمارية حسب مخطوطات الأزتكس والوثائق الأسبانية الأولى. فكل واحد من المجتمعات الصغيرة يكون مسؤولا عن الصيانة والاستخدام المناسب للجزء الخاص به من منظومة الأقنية الأكبر حجما، بيد أن الإدارة الشمولية تتم بالتوافق ما بين مختلف المجتمعات المشاركة. وهكذا يجري تشغيل المنظومة محليا وتشاركيا.

هذا وسوف يستمر الحوار حول كيفية بناء وإدارة البنية التحتية الهدروليكية لهذه المجتمعات. ومما لا شك فيه هو أن منظومات جنوبي المكسيك تعتبر من المعجزات الهندسية وترقى إلى قمة منجزات البنائين في أي مكان في العالم خلال فترة ما قبل التاريخ. ■

المؤلفان

S. Christopher Caran - James A. Neely

*يتشاركان منذ مدة طويلة الاهتمام بمنظومات إدارة المياه قبل التاريخ في المكسيك وجنوب شرق أمريكا. «كاران» هو باحث جيولوجي في جامعة تكساس، متخصص بدراسات **الحقب الرابع** quaternary، ويشغل حاليا منصب رئيس مختبرات تحليل الحقب الرباعي في جامعته. وأما «نيلي» فيشغل منصب أستاذ فخري في قسم الأنثروبولوجيا بجامعة تكساس، وتركزت أبحاثه على التنمية الزراعية. وقد كشف «نيلي» في عقدي الستينات والسبعينات معظم منظومات إدارة المياه التي جاء ذكرها في هذه المقالة، وقد أجرى أبحاثا معمقة في هذا المجال منذ ذلك الحين، وبعضها بالاشتراك مع «كاران» وذلك اعتبارا من عام 1988.*

مراجع للاستزادة

The Keepers of Water and Earth: Mexican Rural Social Organization and Irrigation. K. I. Enge and Scott Whiteford. University of Texas Press, 1989.

Irrigated Agriculture at Hierve el Agua, Oaxaca, Mexico. J. A. Neely et al. in *Debating Oaxaca Archaeology*. Edited by J. Marcus. University of Michigan, Museum of Anthropology, Anthropological Papers No. 84, 1990.

A Late Paleo-Indian/Early Archaic Water Well in Mexico: Possible Oldest Water-Management Feature in the New World. S. C. Caran et al. in *Geoarchaeology: An International Journal*, Vol. 11, No. 1, pages 1–36; January 1996.

A Contextual Study of the "Fossilized" Prehispanic Canal Systems of the Tehuacán Valley, Puebla, Mexico. J. A. Neely in *Antiquity*, Vol. 75, No. 289, pages 505–506; 2002.

Scientific American, October 2006

نمو متسارع للطاقة المتجددة(*)

توشك الخلايا الشمسية وتوربينات (عنفات) الرياح والوقود البيولوجي أن تصبح مصادر الطاقة الأهم. ومن الممكن أن تسرع هذا التحولَ سياساتٌ جديدة.

<D. M. كامن>

لا يمكن لأية خطة تهدف إلى التقليل من **انبعاثات غاز الدفيئة** greenhouse gas emissions تقليلا جوهريا أن تنجح من خلال زيادة الكفاءة في الطاقة(1) فقط؛ ذلك أنه لما كان النمو الاقتصادي يزيد الطلب على الطاقة زيادة مستمرة ـ المزيد من الفحم الحجري لتشغيل مصانع جديدة والمزيد من النفط لتزويد سيارات جديدة والمزيد من الغاز الطبيعي لتدفئة منازل جديدة ـ فإن انبعاثات الكربون ستبقى في ازدياد على الرغم من استخدام سيارات وأبنية وأدوات أكثر كفاءة طاقية. ولمواجهة التزايد الحالي المثير للخوف في الاحترار العالمي، لابد من أن تلتزم الولايات المتحدة والبلدان الأخرى التزاما أساسيا بتطوير مصادر الطاقة المتجددة التي لا تولّد الكربون أو تولّد القليل منه.

إن تقانات الطاقة المتجددة أصبحت فجأة موضع الاهتمام منذ ثلاثة عقود، وذلك ردا على حظر النفط في السبعينات، لكن الاهتمام والدعم لم يستمرا. إلا أن التحسن الهائل في أداء **الخلايا الشمسية** solar cells وتوربينات الرياح(2) والوقود البيولوجي(3) ـ الإيثانول وأنواع الوقود الأخرى المشتقة من النباتات ـ أدى في السنوات الأخيرة إلى تمهيد الطريق أمامها لانتشارها انتشارا تجاريا واسعا. وتبشر المصادر المتجددة، إضافة إلى فوائدها البيئية، بتعزيز أمن أمريكا الطاقي وذلك بوساطة تخفيض اعتماد البلاد على الوقود الأحفوري المستورد من بلدان أخرى. إضافة إلى أن أسعار النفط المرتفعة والمتقلّبة جعلت البدائل المتجددة أكثر إغراءً.

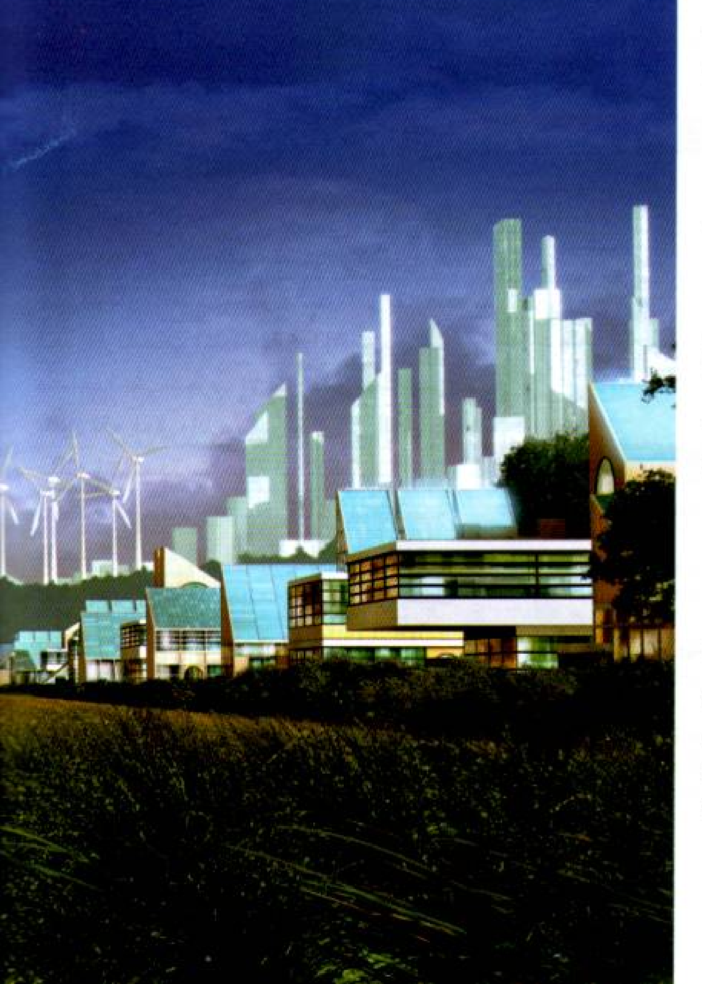
إننا في عصر أصبحت فيه فرص الطاقة المتجددة مواتية، وهذا يجعله الوقت المثالي لتقدّم الطاقة النظيفة خلال العقود القادمة. لكن هذا المسعى يتطلب استثمارا طويل الأمد للموارد العلمية والاقتصادية والسياسية. وينبغي للسياسيين والمواطنين العاديين أن يطالبوا بإصرار وأن يتحدى بعضهم بعضا في تسريع الانتقال إلى الطاقات المتجددة.

لتسطع الشمس(**)

تستخدم الخلايا الشمسية، المعروفة أيضا **بالفوتوڤلطية (الڤلطية الضوئية)** photovoltaics، المواد شبه الموصلة لتحويل ضوء الشمس إلى تيار كهربائي. ولا تقدم هذه الخلايا حاليا سوى جزء ضئيل من كهرباء العالم: إن قدرتها الإجمالية البالغة 5000 ميگاواط (MW) لا تشكل سوى 0.15 في المئة من القدرة الكهربائية العامة المتولدة من جميع المصادر، مع أن ضوء الشمس يمكن أن يوافر، من حيث المبدأ، 5000 ضعف من الطاقة التي يستهلكها العالم حاليا. وبفضل التحسينات التي طرأت على التقانة وانخفاض التكلفة وبفضل سياسات المساعدة في العديد من الولايات والبلدان، فإن الإنتاج السنوي من الطاقة الفوتوڤلطية ازداد أكثر من 25 في المئة كل سنة خلال العقد الماضي وازداد بمقدار 45 في المئة عام 2005. وقد أضافت الخلايا التي صنعت في العام الماضي 1727 MW إلى مقدرة التوليد العالمية، كان منها 833 MW في اليابان و 353 MW في ألمانيا و 153 MW في الولايات المتحدة.

ويمكن صنع الخلايا الشمسية حاليا من عدد من المواد، بدءا من شرائح **السيليكون المتعدد البلورات** multicrystalline silicon

(*) THE RISE OF RENEWABLE ENERGY
(1) energy efficiency
(2) wind turbines
(3) biofules
(**) Let the Sun Shine



التقليدية التي ما زالت تهيمن على السوق وانتهاء بخلايا الأغشية السيليكونية الرقيقة والنوابض المؤلفة من البلاستيك أو أشباه الموصلات العضوية. إن إنتاج الخلايا الشمسية من الأغشية الرقيقة[1] أرخص من إنتاج خلايا السيليكون البلوري، لكنها في المقابل أقل كفاءة في تحويل الضوء إلى طاقة كهربائية. لقد وصلت كفاءة الخلايا البلورية في المختبر إلى 30 في المئة أو أكثر من ذلك، في حين تراوح كفاءة الخلايا التجارية العادية من هذا النوع بين 15 و 20 في المئة. إن الكفاءة المختبرية والتجارية لجميع أنواع الخلايا الشمسية قد ارتفعت باستمرار في السنوات الأخيرة، وهذا يشير إلى أن زيادة الجهود البحثية يمكن أن تحسّن أداء الخلايا الشمسية في السوق.

إن الخلايا الشمسية سهلة الاستخدام جدا، لأنها يمكن أن توضع في أي مكان ـ على سطوح المنازل وأبنية المكاتب أو جدرانها وعلى شكل **صفيفات** arrays كبيرة في الصحراء، وحتى إنه يمكن أن تُخاط في الملابس لتزويد الأجهزة الإلكترونية المحمولة بالطاقة الكهربائية. وقد انضمت ولاية كاليفورنيا إلى اليابان وألمانيا في قيادة دفع عالمي للمنشآت الشمسية، ويرمي الالتزام المسمى «مليون سطح شمسي» إلى توليد 3000 MW جديدة في الولاية بحلول عام 2018. وتبين الدراسات التي أجرتها مجموعتي البحثية ـ في **مختبر الطاقة المتجددة والمناسبة** Renewable and Appropriate Energy Laboratory بجامعة كاليفورنيا في بيركلي ـ أن الإنتاج السنوي من الخلايا الشمسية في الولايات المتحدة وحدها يمكن أن ينمو إلى 10 000 MW في غضون 20 عاما فقط إذا استمر التوجه الحالي.

وسيكون تخفيض سعر الخلايا الشمسية، الباهظة الثمن نسبيا في الوقت الحالي، أكبر تحدٍّ: إذ تبلغ التكلفة الإجمالية للكهرباء التي تنتجها الخلايا البلورية ما بين 20 و 25 سنتا لكل كيلوواط-ساعة، مقارنة بتكلفة الكهرباء التي ينتجها الفحم الحجري البالغة أربعة إلى ستة سنتات أو تلك المنتجة بوساطة حرق الغاز الطبيعي البالغة خمسة إلى سبعة سنتات أو تلك التي تنتجها محطات توليد الكهرباء العاملة بالكتلة البيولوجية البالغة ستة إلى تسعة سنتات (يصعب تحديد تكلفة توليد الكهرباء نوويا لأن الخبراء يختلفون حول التكاليف التي ينبغي أن يشملها الحساب، والمجال التقديري هو بين سنتين و12 سنتا لكل كيلوواط-ساعة). ولحسن الحظ فقد انخفضت أسعار الخلايا الشمسية انخفاضا مستمرا خلال العقد الماضي، وكان ذلك إلى حد كبير بسبب ما طرأ على عمليات التصنيع من تحسينات. ففي اليابان، حيث أضيفت 290 MW من مقدرة توليد الكهرباء الشمسية عام 2005 وصُدِّرت كمية أكبر منها، انخفضت تكلفة الخلايا الشمسية بمعدل 8 في المئة كل عام؛ وفي كاليفورنيا، حيث رُكِّبت 50 MW من الطاقة الكهربائية الشمسية عام 2005، انخفضت التكاليف بمعدل 5 في المئة سنويا.

وما يثير الدهشة أن كينيا هي البلد الأول في العالم في عدد منظومات الطاقة الكهربائية الشمسية المركَّبة لكل فرد (ولكن ليس في عدد الواطات المضافة). ففيها يباع سنويا أكثر من 30 000 لوح شمسي صغير جدا ينتج كل منها 12 إلى 30 واط. ويمكن لمنظومة لا تكلف أكثر من نحو 100 دولار للوح والأسلاك أن تُستخدم لشحن بطارية سيارة، يمكنها بعدئذ أن توافر طاقة كهربائية كافية لتشغيل

(1) thin films

يمكن لعالم طاقته نظيفة أن يعتمد على توربينات الرياح والخلايا الشمسية لتوليد كهربائه وعلى الوقود البيولوجي المستخرج من الثُّمام العصوي switchgrass ونباتات أخرى لتزويد سياراته بالطاقة.



مصباح متفلور أو تلفزيون أبيض-أسود صغير ساعاتٍ قليلة كل يوم. ويزداد عدد الكينيين الذين يختارون الطاقة الكهربائية الشمسية كل عام عوضا عن استخدامهم شبكة كهرباء البلد. وتستخدم اللوحات عادة خلايا شمسية مصنوعة من **السيليكون اللابلوري** amorphous silicon؛ ومع أن كفاءتها هي فقط نصف كفاءة الخلايا البلورية فإن تكلفتها أقل بكثير (بأربع مرات على الأقل): فتكون القدرة على شرائها أكبر، وهي تفيد بليونين من البشر في أنحاء العالم ليست لديهم كهرباء في الوقت الراهن. وتزداد مبيعات منظومات الكهرباء الشمسية الصغيرة ازديادا سريعا في الدول الإفريقية الأخرى أيضا، ويمكن أن يسرِّع هذا الازدياد التقدمَ الذي تحرزه صناعة الخلايا الشمسية القليلة التكلفة.

وأكثر من ذلك، ليست الخلايا الشمسية هي الشكل الوحيد من الطاقة الكهربائية الشمسية الذي ينمو بسرعة. فالمنظومات الشمسية الحرارية التي تجمع ضوء الشمس لتوليد الحرارة تشهد ولادة جديدة. فقد كانت هذه المنظومات مدة طويلة تُستخدم لتوفير الماء الساخن للبيوت أو المصانع، لكنها يمكن أن تنتج الكهرباء أيضا من دون الحاجة إلى الخلايا الشمسية الباهظة الثمن. ففي أحد التصاميم، على سبيل المثال، تركِّز المرايا الضوء على **مولِّد استيرلنك** Stirling engine، وهو جهاز عالي الكفاءة يحوي مائعا عاملا[1] يدور بين حجرتين إحداهما حارة والأخرى باردة. يتمدد المائع عند تعرضه لضوء الشمس فيدفع مكبسا يدير توربينا.

وفي خريف عام 2005، أعلنت شركة من مدينة فونيكس تدعى Stirling Energy Systems (SES) أنها كانت تخطط لبناء منشأتي طاقة كهربائية شمسية حرارية كبيرتين في جنوب كاليفورنيا. وقد وقَّعت الشركة SES اتفاقية شراء مدتها عشرون عاما مع الشركة Southern California Edison التي سوف تشتري الكهرباء من منشأة شمسية قدرتها 500 MW ستُبنى في **صحراء موهافي** Mojave Desert. وسوف تضم المنشأة التي تمتد على مساحة 4500 أكر (أكثر من 16 كيلومتر مربع)، 20 000 مرآة على شكل صحن مقعر يركِّز كل منها الضوء على مولِّد استيرلنك حجمه مثل حجم برميل النفط تقريبا. ويُتوقع أن تبدأ المنشأة العمل عام 2009 ويمكن توسيعها فيما بعد إلى 850 MW. ووقَّعت الشركة SES أيضا عقدا مدته عشرون عاما مع شركة غاز وكهرباء سان دييغو San Diego Gas & Electricity لبناء منشأة قدرتها 300 MW تضم 12 000 صحن في إمبريال ڤالي. ويمكن فيما بعد تطوير هذه المنشأة لتنتج 900 MW.

لم تُعلن التفاصيل المالية المتعلقة بمشروعي كاليفورنيا على الملأ، لكن الكهرباء التي تنتجها التقانات الشمسية الحرارية الحالية تكلف ما بين 5 و13 سنتا لكل كيلوواطساعة، علما أن المنظومات المزوَّدة بصحون مرايا تقع عند الحد الأعلى من هذا المجال. ولما كان المشروعان يتضمنان تقانة ذات وثوق عال وإنتاج بالجملة فيتوقع أن تنخفض تكلفة التوليد لتصبح قريبة من أربعة إلى ستة سنتات لكل كيلوواط-ساعة، أي تصبح منافسة لسعر الطاقة الكهربائية المنتجة بوساطة الفحم الحجري.

5000 ميگاواط
مقدرة توليد الكهرباء من الخلايا الشمسية في العالم

37 في المئة
الكفاءة القصوى للخلايا الشمسية التجريبية

20 إلى 25 سنتا
تكلفة الكيلوواط-ساعة للكهرباء الشمسية

نظرة إجمالية[*]

- **بفضل تقدم التقانة، يمكن لمصادر الطاقة المتجددة أن تصبح مساهما كبيرا في الطاقة العالمية.**
- **لتسريع هذا الانتقال إلى الطاقات المتجددة، ينبغي للولايات المتحدة أن تزيد ما تخصصه للإنفاق على التطوير والبحث في مجال الطاقة.**
- **كذلك ينبغي للولايات المتحدة أن تفرض رسما على الكربون لتكافئ مصادر الطاقة النظيفة مقابل تلك التي تؤذي البيئة.**

نمو متسارع للطاقة من الرياح[**]

لقد نمت الطاقة الكهربائية التي تولدها الرياح بسرعة تضارع تلك التي نمت بها الصناعة الشمسية. وازدادت مقدرة التوليد العالمية لتوربينات الرياح أكثر من 25 في المئة كل عام وسطيا، خلال العقد الماضي، حتى وصلت إلى 60 000 MW في عام 2005. وكان هذا النمو بين عامي 1994 و 2005 أشبه ما يكون بالانفجار في أوروبا، فقد قفزت مقدرة الطاقة الكهربائية التي تولِّدها الرياح في دول الاتحاد الأوروبي من 1700 إلى 40 000 MW. وعند ألمانيا وحدها أكثر من 18 000 MW بفضل برنامج بناء مدعومٍ سريع. وتلبي المقاطعة الألمانية الشمالية شلزڤيك-هولشتاين حاليا ربع حاجتها من الكهرباء سنويا بوساطة أكثر من 2400 توربين رياح؛ وفي أشهر معيَّنة توافر الطاقة الكهربائية المولَّدة بوساطة الرياح أكثر من نصف كهرباء هذه المقاطعة. يضاف إلى ذلك أن عند إسبانيا 10 000 MW من القدرة المولدة بالرياح[2]، وعند الدنمارك 3000 MW، وعند كل من بريطانيا العظمى وهولندا وإيطاليا والبرتغال أكثر من 1000 MW.

أما في الولايات المتحدة فقد تسارعت صناعة توليد الكهرباء بوساطة الرياح تسارعا مذهلا في السنوات الخمس الماضية، حتى إن مقدرة التوليد الكلية قفزت 36 في المئة

(*) Overview
(1) working fluid
(**) العنوان الأصلي: Blowing in the Wind
(2) wind power

تنمو بسرعة، لكنها لاتزال صغيرة(*)

تكتسب الخلايا الشمسية والكهرباء المولَّدة بوساطة الرياح والوقود البيولوجي بسرعة مكانة في أسواق الطاقة، لكنها تبقى هامشية مقارنة بمصادر الوقود الأحفوري، مثل الفحم الحجري والغاز الطبيعي والنفط.

ازدهار الطاقة المتجددة

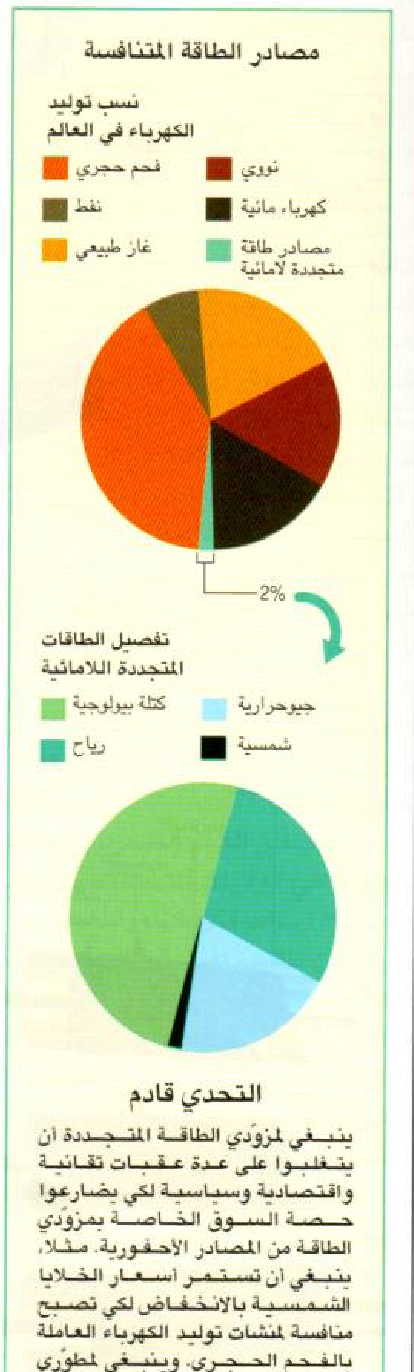
تسارع التداول التجاري لمصادر الطاقة المتجددة منذ عام 2000 تسارعا مذهلا. فقد قفز الإنتاج الطاقي السنوي العالمي للخلايا الشمسية، التي تعرف أيضا بالخلايا الفوتوڤلطية، 45 في المئة عام 2005. وإن بناء مزارع رياح[1] جديدة، وبخاصة في أوروبا، قد رفع مقدرة التوليد العالمية لكهرباء الرياح[2] عشرة أضعاف خلال العقد الماضي. وارتفع إنتاج الإيثانول، أكثر أنواع الوقود البيولوجي شيوعا، إلى 36.5 بليون لتر في السنة. وكانت حصة الأسد للإيثانول المقطر من الذُّرة المزروعة في أمريكا.

إنتاج الخلايا الشمسية للطاقة الكهربائية

مقدرة توليد طاقة الرياح

إنتاج الإيثانول

مصادر الطاقة المتنافسة



التحدي قادم

ينبغي لمزوّدي الطاقة المتجددة أن يتغلبوا على عدة عقبات تقانية واقتصادية وسياسية لكي يضارعوا حصة السوق الخاصة بمزوّدي الطاقة من المصادر الأحفورية. مثلا، ينبغي أن تستمر أسعار الخلايا الشمسية بالانخفاض لكي تصبح منافسة لمنشآت توليد الكهرباء العاملة بالفحم الحجري. وينبغي لمطوّري مزارع الرياح أن يعالجوا المسائل المتعلقة بالبيئة وبالمعارضة المحلية. وتضم المصادر المتجددة الواعدة الأخرى مولّدات تعمل بالبخار الصاعد من المنافذ الجيوحرارية[3] ومنشآت توليد الكهرباء من الخشب والنفايات الزراعية.

(*) Growing Fast, But Still A Sliver
(1) wind farms
(2) wind electricity
(3) geothermal vents



كهرباء حارة من المرايا(*)

يمكن لمنظومات شمسية-حرارية، مستخدمة منذ زمن طويل لتأمين الماء الساخن للمنازل والمصانع، أن تولّد الكهرباء أيضا. ولما كانت هذه المنظومات تنتج الكهرباء من حرارة الشمس وليس من الضوء، فإنها لا تحتاج إلى الخلايا الشمسية الباهظة الثمن.

المركّزات الشمسية(1)

يتألف الصفيف array الشمسي الحراري من آلاف المركّزات الشمسية، التي لها شكل صحون يرتبط كل منها بمولّد استيرلنك الذي يحوّل الحرارة إلى كهرباء. توضع المرايا بحيث تركّز ضوء الشمس المنعكس على مستقبِل مولّد استيرلنك.

مولّد استيرلنك

يقوم مولّد استيرلنك العالي الأداء بتحريك مائع عامل(2)، مثل غاز الهدروجين، ذهابا وإيابا بين حجرتين (a). تكون الحجرة الباردة (*الزرقاء*) مفصولة عن الحجرة الحارة (*البرتقالية*) بوساطة مسترجع regenerator يحافظ على فرق درجة الحرارة بينهما. تسخّن الطاقة الشمسية الآتية من المستقبِل الغازَ في الحجرة الحارة فتؤدي إلى تمدده، وتحريكه المكبسَ الحار (b). ثم يعكس هذا المكبس جهة حركته فيدفع الغاز الحار إلى الحجرة الباردة (c). وعند تبرّد الغاز يستطيع المكبس البارد أن يضغطه بسهولة فيتيح للدورة أن تبدأ من جديد (d). وتشغّل حركة المكابس توربينات تدير المولد alternator فتتولد الكهرباء.

(*) Hot Power from Mirrors
(1) solar conectrations
(2) working fluid

فوصلت إلى 9100 MW عام 2005. ومع أن توربينات الرياح لا تنتج حاليا سوى 0.5 في المئة من كهرباء البلاد فإن إمكانية التوسع هائلة وبخاصة في ولايات السهول الكبرى «گريت بلينز» ذات الرياح الشديدة. (على سبيل المثال، عند ولاية داكوتا الشمالية موارد طاقة رياح أكبر مما عند ألمانيا، لكن لا توجد سوى 98 MW من مقدرة التوليد مركّبة هناك). ولو أن الولايات المتحدة بنت مزارع رياح كافية لاستغلال هذه الموارد استغلالا كاملا لأمكن للتوربينات أن تولّد من الكهرباء ما مقداره 11 تريليون كيلوواط-ساعة، أي ثلاثة أضعاف مقدار الطاقة الإجمالية التي أنتجتها جميع مصادر الطاقة في الولايات المتحدة في العام الفائت. وقد طوّرت الصناعة المتعلقة بطاقة الرياح توربينات تزداد كبرا وكفاءة، ويستطيع كل منها إنتاج ما بين 4 و 6 MW. وفي العديد من المواقع تكون الكهرباء التي تولدها الرياح أرخص من أشكال الكهرباء الجديدة الأخرى وتراوح تكلفتها بين أربعة وسبعة سنتات لكل كيلوواط-ساعة.

60 000 ميگاواط
مقدرة توليد الكهرباء من الرياح في العالم

0.5 في المئة
الجزء من كهرباء الولايات المتحدة المنتَج بوساطة توربينات الرياح

1.9 سنت
الدعم الضريبي للكهرباء المولَّدة من الرياح لكل كيلوواط-ساعة من الكهرباء

لقد حفّز الدعم الضريبي للإنتاج نموَّ مزارع الرياح الجديدة في الولايات المتحدة، حيث وافر لها إعانة متواضعة تعادل 1.9 سنت لكل كيلوواط-ساعة، وهذا يتيح لتوربينات الرياح أن تنافس المنشآت العاملة بالفحم الحجري. إلا أن الكونگرس، لسوء الحظ، هدد مرارا بإلغاء الدعم الضريبي، فكان أن أدى عدم اليقين باستمرار الدعم السنوي إلى إبطاء الاستثمار في مزارع الرياح. ويهدد الكونگرس أيضا بأن يطيح بمشروع مزرعة رياح تقع خارج سواحل ماساتشوستس تضم 130 توربينا كانت ستوافر 486 MW من مقدرة توليدية[1] تكفي لتزويد معظم مناطق كيب كود ومارتاس ڤاينيارد ونانتوكت بالكهرباء.

وتأتي التحفظات حول الكهرباء التي تولّدها الرياح في أحد أجزائها من شركات توليد الكهرباء التي تمانع في تقبّل التقانة الجديدة، وفي جزئها الآخر ممن يسمون أنفسهم «ليس في فنائي الخلفي» الذين يرمز لهم بالأحرف (NIMBY)[2]. ومع أن قلق الأهالي من تأثير توربينات الرياح في المنظر الطبيعي فيه بعض الحق، فإنهم يجب أن يوازنوا هذا بالتكاليف الاجتماعية للبدائل: فحيث تنمو حاجات المجتمع للطاقة بلا هوادة، فإن رفض مزارع الرياح غالبا ما يعني الحاجة إلى بناء منشآت تحرق الوقود الأحفوري أو توسيع تلك المنشآت، وهذا سيكون له آثار بيئية أكبر ضررا بكثير.

الوقود الأخضر[*]

يندفع الباحثون أيضا بسرعة لتطوير أنواع **الوقود البيولوجي** biofuels الذي يمكن أن يحل على الأقل محل جزء من النفط الذي تستهلكه حاليا محركات السيارات. والوقود البيولوجي الأكثر انتشارا من غيره بكثير في الولايات المتحدة هو الإيثانول ethanol الذي يُصنع عادة من الذرة الصفراء ويمزج في البنزين. ويستفيد مصنعو الإيثانول من دعم ضريبي سخي: بفضل المعونة السنوية البالغة بليوني دولار، باعوا أكثر من 16 بليون لتر من الإيثانول عام 2005 (تقريبا 3 في المئة حجما من مجمل وقود السيارات)، ويُتوقع أن يرتفع الإنتاج 50 في المئة بحلول عام 2007. وقد تساءل بعض السياسيين حول الحكمة من المعونة مشيرين إلى أن الدراسات تبين أن الطاقة الواجب صرفها لجني الذُّرة وتكرير الإيثانول أكبر من تلك التي يمكن أن يقدمها هذا الوقود لمحركات الاحتراق. ولكنني اكتشفت وزملائي، في تحليل حديث، أن بعضا من هذه الدراسات لم يأخذ بالحسبان بشكل سليم المحتوى الطاقي للمنتجات الثانوية التي تصنع في الوقت نفسه مع الإيثانول. وحين أخذنا جميع هذه البيانات بالحسبان وجدنا أن للإيثانول طاقة صافية موجبة تقدر بنحو 5 ميگاجول لكل لتر.

ووجدنا كذلك أن تأثير الإيثانول في انبعاثات غاز الدفيئة أكثر غموضا[3]. وتشير أفضل تقديراتنا إلى أن الاستعاضة عن النفط بالإيثانول الذي أساسه الذُّرة يُنقص انبعاثات غاز الدفيئة بمقدار 18 في المئة، لكن هذا التحليل تكتنفه ارتيابات كبيرة تتعلق بممارسات زراعية معينة، وعلى الأخص الثمن البيئي للأسمدة. فإذا استخدمنا افتراضات مختلفة حول هذه الممارسات أصبحت نتائج الانتقال إلى استخدام الإيثانول تراوح بين انخفاض في الانبعاثات مقداره 36 في المئة وارتفاع فيها مقداره 29 في المئة: ومع ذلك فإن الإيثانول الذي أساسه الذُّرة يمكن أن يساعد الولايات المتحدة على خفض اعتمادها على النفط الأجنبي، ولكنه لن يفيد كثيرا في إبطاء الاحترار العالمي ما لم يصبح إنتاج الوقود البيولوجي أنظف.

لكن الحسابات تتغير تغيرا جوهريا حين يكون الإيثانول مصنوعا من مصادر سِلْيلوزية: من النباتات الخشبية مثل **الثُّمَام العَصَوي** switchgrass (واسمه اللاتيني *Panicum Virgatum*) أو الحور. ففي حين يحرق معظم مصنعي الإيثانول الذي أساسه الذرة الوقود الأحفوري، لتوفير الحرارة

(*) Green Fuels
(١) generationg capacity
(٢) اختصارا لهذه العبارة باللغة الإنكليزية .not in my backyard
(٣) ambiguous

كهرباء الرياح
(واط لكل متر مربع)

0–200
200–300
300–400
400–500
500–600
600–800
800–2,000

عند أمريكا مصادر هائلة لطاقة الرياح[1] تكفي لتوليد 11 ترليون كيلوواط-ساعة من الكهرباء كل سنة. وتقع بعض أفضل المواقع المناسبة لتوربينات الرياح في ولايات السهول الكبرى، والبحيرات الكبرى، وفي سلاسل جبال روكي وأبالاتشيانز.

اللازمة للتخمر فإن منتجي الإيثانول السليلوزي يحرقون **الخشبين** lignin ـ وهو الجزء الذي لا يتخمر من المادة العضوية ـ لتسخين السكاكر النباتية. ولا يضيف حرق الخشبين (اللجنين) أية غازات دفيئة إلى الجو، لأن امتصاص ثنائي أكسيد الكربون أثناء نمو النباتات المستخدمة لصنع الإيثانول يعادل الانبعاثات، ونتيجة لذلك يمكن أن تخفض الاستعاضة عن البنزين بالإيثانول السليلوزي انبعاثات غاز الدفيئة بما يعادل 90 في المئة أو أكثر.

أما الوقود البيولوجي الآخر الواعد فهو ما يسمى **الديزل الأخضر** green diesel. لقد أنتج الباحثون هذا الوقود بقيامهم أولا **بتغويز** gasifying الكتلة البيولوجية ـ أي تسخين المواد العضوية تسخينا يكفي لأن يتحرر الهدروجين وأحادي أكسيد الكربون ـ ثم بتحويل هذه المركّبات إلى هدروكربونات طويلة السلسلة باستخدام عملية فيشر-تروبْش (وقد استخدم المهندسون الألمان خلال الحرب العالمية الثانية هذه التفاعلات الكيمياوية لصنع وقود محركات تركيبي من الفحم الحجري)، وسوف تكون النتيجة وقودا سائلا منافسا من الناحية الاقتصادية للاستخدام في محركات السيارات لا يضيف تقريبا أية غازات دفيئة إلى الجو. وتتقصى حاليا شركة النفط العملاقة دُتْش/شل هذه التقانة.

الحاجة إلى البحث والتطوير[*]

حاليا يمر كل من هذه المصادر المتجددة في منعطف خطير، فهذه هي المرحلة الحاسمة حين يمكّن الاستثمار والابتكار والتسويق هؤلاء المنجذبين المترددين عموما من أن يصبحوا مساهمين رئيسيين في تزويد الطاقة محليا أو عالميا. وفي الوقت نفسه بدأت تنتشر الخطط الطموحة المصممة لفتح الأسواق أمام الطاقات المتجددة على مستوى المدن والولايات والمستوى الفدرالي في جميع أنحاء العالم. وقد تبنت الحكومات هذه الخطط لأسباب متنوعة جدا: لتشجيع تنوع الأسواق أو الأمن الطاقي ولدعم الصناعات والتوظيف ولحماية البيئة على المستويين المحلي والعالمي. ففي الولايات المتحدة هناك أكثر من 20 ولاية تبنّت معايير تضع حدا أدنى لجزء الكهرباء الذي يجب أن يقدَّم بوساطة موارد متجددة. وتخطط ألمانيا لتوليد 20 في المئة من كهربائها من الموارد المتجددة بحلول عام 2020، وتنوي السويد التخلي عن الوقود الأحفوري كليا.

حتى الرئيس <جورج دبليو بوش> ذكر في خطابه الشهير حول حالة الاتحاد في الشهر 2006/1: إن الولايات المتحدة «مدمنة على النفط.» ومع أن <بوش> لم يشر إلى علاقة ذلك بالاحترار العالمي[2]، فإن جميع العلماء متفقون تقريبا على أن إدمان البشرية على الوقود الأحفوري



(*) The Need for R&D
(1) wind energy
(2) global worming

وصل السيارات الهجينة بمقابس الكهرباء[*]

سوف تكون الفوائد البيئية أكبر إذا استُخدم الوقود البيولوجي المتجدد لتشغيل **السيارات الكهربائية الهجينة** plug-in hybrid electric vehicles، واختصارا PHEV. فهذه السيارات والشاحنات، مثلها مثل معظم السيارات الهجينة التي تعمل بالبنزين والكهرباء، تجمع بين محرك الاحتراق الداخلي والمحرك الكهربائي لجعل كفاءة الوقود عظمى. لكن في السيارات PHEV بطاريات أكبر يمكن إعادة شحنها بوصلها بمقبس (مأخذ) الكهرباء. وبإمكان هذه العربات أن تسير بوساطة الكهرباء وحدها خلال رحلات قصيرة نسبيا، أما في الرحلات الطويلة فيبدأ محرك الاحتراق الداخلي بالعمل حين لا يبقى في البطاريات طاقة كافية.

وبإمكان هذه التوليفة أن تخفض استهلاك البنزين تخفيضا كبيرا؛ ففي حين تستهلك سيارات الركاب العادية من الوقود ما يقارب الگالون (3.8 لتر) لكل 45 كيلومتر (30 ميل) وتستهلك وسطيا السيارات الهجينة عندما لا توصل بالكهرباء (مثل سيارة الشركة تويوتا المسماة Prius) گالونًا لكل 75 كيلومتر، فإن السيارات PHEV يمكن أن تستهلك ما يعادل گالونًا لكل 120 إلى 240 كيلومتر. وينخفض استهلاك الوقود أكثر إذا عملت محركات الاحتراق في السيارات PHEV باستخدام مزائج الوقود البيولوجي، مثل الوقود EBS وهو مزيج 15 في المئة من البنزين و85 في المئة من الإيثانول.

فإذا استعيض عن أسطول سيارات الولايات المتحدة كله بين ليلة وضحاها بالسيارات PHEV لانخفض استهلاك النفط فيها 70 في المئة أو أكثر، وهذا ينفي الحاجة كليا إلى استيراد النفط. وستكون لمثل هذه الاستعاضة أيضا نتائج عميقة تتعلق بحماية مناخ الأرض الهش، إضافة إلى زوال **الضبخان** smog. ولما كان معظم الطاقة الذي تُزوَّد به السيارات يأتي من شبكة الكهرباء بدلا من أن يأتي من خزانات الوقود فسوف تتركز الآثار البيئية في آلاف قليلة من منشآت توليد الكهرباء عوضا عن مئات الملايين من السيارات. وسوف يركّز هذا الانتقالُ التحديَ المتعلق بحماية المناخ مباشرة على مهمة إنقاص انبعاثات غاز الدفيئة الناتجة من توليد الكهرباء.

وكذلك بإمكان السيارات PHEV أن تكون وسيلة لإنقاذ صناعة السيارات الأمريكية المريضة[1]. فبدلا من الاستمرار في خسارة حصة السوق لصالح الشركات الأجنبية يمكن لمصنّعي السيارات أن يصبحوا منافسين من جديد إذا أعادوا تجهيز مصانعهم بهدف إنتاج السيارات PHEV التي كفاءة استهلاكها للوقود أفضل من السيارات الهجينة التي لا توصل بمقابس الكهرباء التي تبيعها حاليا الشركات اليابانية. وسوف تستفيد شركات الكهرباء أيضا من هذا التحول، لأن معظم مالكي السيارات PHEV سوف يعيدون شحن بطاريات سياراتهم أثناء الليل حين تكون الكهرباء أرخص ما تكون، فيساعدون بذلك على تخفيف حدة الطلب الأعظم والأدنى على الكهرباء. ففي كاليفورنيا، على سبيل المثال، تؤدي الاستعاضة عن 20 مليون سيارة عادية بالسيارات PHEV إلى زيادة الطلب الليلي على الكهرباء إلى مستوى الطلب النهاري نفسه تقريبا فيحسّن بذلك كثيرا استخدام شبكة الكهرباء والعديد من منشآت توليد الكهرباء التي تبقى متوقفة أثناء الليل. وإضافة إلى ذلك فإن السيارات الكهربائية التي لا تُستخدم نهارا يمكنها أن تقدم الكهرباء إلى شبكات التوزيع المحلية في أوقات يكون فيها الضغط على الشبكة كبيرا. إن الفوائد الكامنة بالنسبة إلى صناعة الكهرباء تكمن بالضغط على شركات الكهرباء لتجعلها راغبة في تشجيع بيع السيارات PHEV، وذلك بتقديم أسعار كهرباء مخفضة لشحن بطاريات السيارات. وأهم ما في الأمر أن السيارات PHEV ليست سيارات غير مألوفة تنتمي إلى المستقبل البعيد. فقد قدمت الشركة Daimler Chrysler نموذجا أوليا للسيارة PHEV، وهي مماثلة لسيارة الشركة Mercedes-Benz المسماة Sprinte Van واستهلاكها للبنزين أقل بمقدار 40 في المئة من النموذج العادي. وتَعد السيارات PHEV بأن تصبح أكثر كفاءة مما هي عليه حاليا، حين تُحسّن التقانات الجديدة كثافة البطاريات الطاقية فتتيح للسيارات أن تقطع مسافات أطول باستخدامها الكهرباء فقط.

D.M.K.

يسبب اضطرابا في مناخ الأرض. لقد حان وقت الفعل[2]. فالوسائل أصبحت موجودة أخيرا لتعديل إنتاج الطاقة واستهلاكها بطرق تفيد في الوقت نفسه كلا من الاقتصاد والبيئة. وخلال السنوات الخمس والعشرين الماضية تراجع التمويل الخاص والعام للبحث والتطوير في قطاع الطاقة. وبين عامي 1980 و 2005 انحدر الإنفاق في الولايات المتحدة كلها على البحث والتطوير المخصصين للطاقة من 10 إلى 2 في المئة؛ وهوى التمويل العام السنوي للبحث والتطوير في مجال الطاقة من 8 بلايين إلى 3 بلايين دولار (بدولارات عام 2002)؛ كما انخفض البحث والتطوير الخاص من 4 بلايين إلى بليون دولار [*انظر الإطار في الصفحة 40*].

ولوضع هذه الانحدارات في منظورها العام، كانت شركات الطاقة في بداية الثمانينات تنفق على البحث والتطوير أكثر مما تنفقه شركات الأدوية، في حين لا يشكل إنفاق شركات الطاقة اليوم سوى نحو عُشر ما كان عليه. إن مجمل تمويل البحث والتطوير الخاص بقطاع الطاقة يقل عن تمويل شركة واحدة كبيرة **للتقانة البيولوجية** biotech. (على سبيل المثال، بلغت مصروفات الشركة Amgen على البحث والتطوير 2.3 بليون دولار عام 2005). ومثلما تضاءل الإنفاق على البحث والتطوير تضاءل كذلك الابتكار. فمثلا تناقص تمويل البحث والتطوير للخلايا الشمسية وتوليد الكهرباء من الرياح خلال ربع القرن الماضي، وهبط تبعا لذلك عدد التطبيقات الناجحة المرخصة ببراءة اختراع في هذين المجالين. كما أن غياب الانتباه إلى البحث الطويل الأمد والتخطيط أضعف إضعافا ذا شأن مقدرة الولايات المتحدة على مواجهة التحديات المتعلقة بتغير المناخ والفوضى في التزود بالطاقة.

لقد أصبحت الدعوة إلى تعهد أساسي جديد بالبحث والتطوير في مجال الطاقة دعوة شائعة. وكانت دراسة أجرتها لجنة مستشاري الرئيس (الأمريكي) في شؤون العلم والتقانة عام 1997 وتقرير أعدّته هيئة الحزبين الوطنية (الأمريكية) لسياسة الطاقة عام 2004، أوصيا كلاهما بأن تضاعف الحكومة الفدرالية إنفاقها على

(*) Plugging Hybrids
(1) ailing
(2) time for action

البحث والتطوير في مجال الطاقة. ولكن هل سيكون مثل هذا التوسع كافيا؟ على الأغلب لن يكون. لقد قامت مجموعتي البحثية بحساب مبني على تقديرات تكلفة إبقاء كمية ثنائي أكسيد الكربون في الجو ثابتة وعلى دراسات أخرى تُقدِّر نجاح برامج البحث والتطوير في مجال الطاقة وما يمكن أن ينتج من ذلك من وفر بفضل التقانات التي يمكن أن تظهر، فوجدتُ أن تمويلا عاما يراوح بين 15 و 30 بليون دولار كل سنة سيكون ضروريا ـ وهذا يفوق المستويات الحالية بخمس إلى عشر مرات.

لقد وجدتُ مع <F .G. نِمِت> [طالب الدكتوراه في مختبري] أن زيادة بهذا القدر ستكون مشابهة تقريبا لتلك التي حدثت خلال مبادرات فدرالية سابقة، مثل مشروع منهاتن وبرنامج أبولو، وقد أنتج كل منهما فوائد اقتصادية واضحة، إضافة إلى أنه حقق أهدافه. وبإمكان شركات الطاقة الأمريكية أن تزيد إنفاقها الخاص بالبحث والتطوير عشر مرات وستبقى مع ذلك دون الوسطي بالنسبة إلى صناعة الولايات المتحدة بمجملها. ومع أن التمويل الحكومي أساسي لدعم التقانات في مراحلها المبكرة، فإن البحث والتطوير في القطاع الخاص هو المفتاح لغربلة أفضل الأفكار ولإزالة الحواجز أمام جعلها متداولة تجاريا.

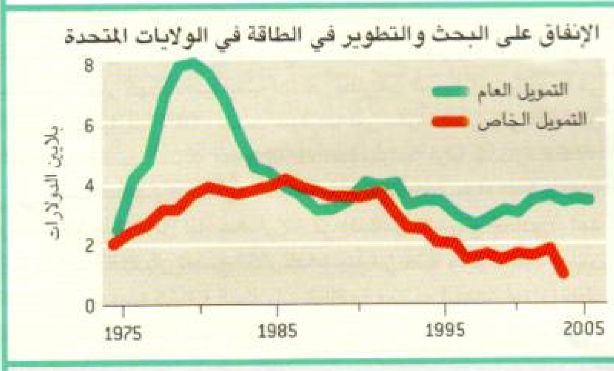
ولكن زيادة الإنفاق على البحث والتطوير ليست الطريقة الوحيدة لجعل الطاقة النظيفة أولوية وطنية. فبإمكان المربّين، في جميع المستويات من روضة الأطفال حتى الكلّية، إثارة اهتمام الجمهور وجعله يؤكد اتخاذ الإجراءات الفعالة، وذلك بأن يعلّموا كيف يؤثر استخدام الطاقة وإنتاجها في كل من البيئة الاجتماعية والبيئة الطبيعية. وبإمكان المنظَّمات اللاربحية تنظيم سلسلة من المنافسات تمنح جوائز لأول شركة أو مجموعة خاصة تتوصل إلى تحقيق هدف صعب جدير بالاهتمام في مجال الطاقة، مثل تصميم جهاز أو بناء يستطيع توليد كهربائه بنفسه، أو مثل تطوير سيارة تجارية تستطيع قطع 300 كيلومتر (200 ميل) باستهلاك گالون واحد (3.8 لتر) من الوقود. ويمكن أن تكون الجوائز مماثلة لجوائز أشوكا التي تُمنح للرواد في السياسة العامة ولجائزة Ansari X التي تُمنح لمطوري المركبات الفضائية. وكذلك ينبغي للعلميين والمقاولين أن يركّزوا على إيجاد طرق مقبولة التكلفة ونظيفة لمواجهة حاجات الناس إلى الطاقة في العالم النامي. وعلى سبيل المثال، قمت مع زملائي مؤخرا بتبيان الفوائد البيئية الناتجة من تحسين مواقد الطبخ في إفريقيا.

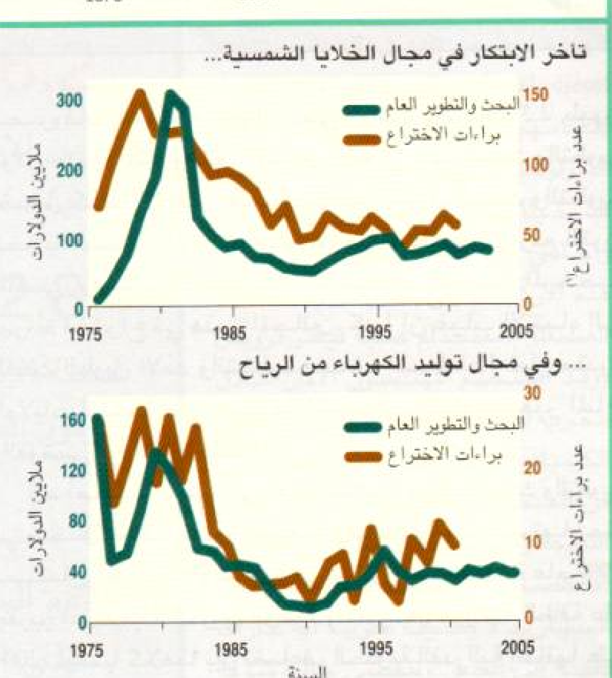
لكن ربما كانت أكثر الخطوات أهمية نحو إيجاد اقتصاد طاقي مستدام هو إنشاء خطط على أساس السوق لجعل أسعار الوقود الكربوني تمثل تكلفته الاجتماعية؛ ذلك أن استخدام الفحم الحجري والنفط والغاز الطبيعي يفرض عبئا جماعيا ضخما على المجتمع بصورة مصروفات على العناية الصحية المتعلقة بأمراض مزمنة يسببها تلوث الهواء، ونفقات عسكرية لجعل التزود بالنفط آمنا، وتخريب للبيئة بسبب أعمال التنقيب، وتأثيرات اقتصادية ضارة ناتجة من الاحترار العالمي. إن رسما يُفرض على انبعاثات الكربون يمكن أن يوافر طريقة بسيطة ومنطقية وشفافة لمكافأة مصادر الطاقة المتجددة النظيفة مقابل تلك التي تضر بالاقتصاد وبالبيئة. ويمكن أن تفي عائدات الضريبة بعض التكاليف الاجتماعية المتعلقة بانبعاثات الكربون، كما يمكن أن يُخصص جزء منها لتعويض الأُسر ذات الدخل المنخفض التي تنفق جزءا كبيرا من دخلها على الطاقة. وأكثر من ذلك يمكن دمج رسم الكربون في البرنامج المسمى **التزم و تاجر** cap-and-trade، الذي يضع حدودا على انبعاثات الكربون ولكنه يسمح أيضا لمزودي الطاقة النظيفة ببيع رخصهم إلى منافسيهم منتجي الطاقة الملوِّثة. لقد استخدمت الحكومة الفدرالية (الأمريكية) مثل هذه البرامج بنجاح كبير لكبح الملوّثات الأخرى، وتختبر بعض الولايات الشمالية الشرقية حاليا تجارة انبعاثات غاز الدفيئة.

وأفضل ما في الأمر أن هذه الخطوات يمكن أن توافر لشركات

البحث والتطوير هو الحل(*)

انخفض الإنفاق على البحث والتطوير في قطاع الطاقة في الولايات المتحدة بصورة ثابتة منذ ذروته عام 1980. وتدل دراسة النشاط في براءات الاختراع أن الهبوط في التمويل أبطأ تطويرَ تقانات الطاقة المتجددة. فعلى سبيل المثال انخفض عدد التطبيقات الناجحة (في الخلايا الشمسية وتوليد الكهرباء من الرياح) المرخصة ببراءات اختراع مع انحدار الإنفاق على البحث والتطوير في هذين المجالين.





مبالغ الإنفاق مقدرة بدولارات عام 2002 لأخذ التضخم بالحسبان.

(*) R&D Is Key

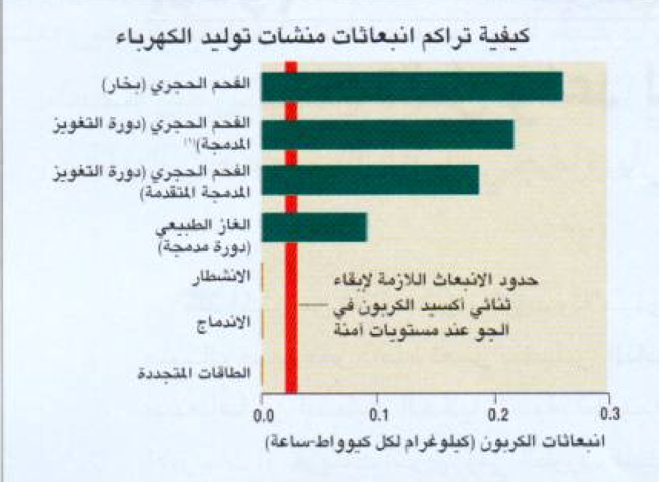
(1) patents

أقل أنواع الوقود الأحفوري سوءا(*)

مع أن مصادر الطاقة المتجددة تقدم أفضل الطرق للخلاص نهائيا من انبعاثات غاز الدفيئة، فإن توليد الكهرباء من الغاز الطبيعي عوضا عن الفحم الحجري يمكن أن يقلل كثيرا من كمية الكربون المضافة إلى الجو. إن منشآت توليد الكهرباء العادية العاملة بالفحم الحجري تُصدر 0.25 كيلوغرام من الكربون لتوليد كل كيلوواط-ساعة من الكهرباء. (تصدر المنشآت الأحدث العاملة بالفحم الحجري 20 في المئة أقل من الكربون). لكن للغاز الطبيعي [CH_4] نسبة أعلى من الهدروجين ونسبة أخفض من الكربون مما للفحم الحجري. ولا تُصدر منشأة توليد كهرباء ذات دورة مركّبة تحرق الغاز الطبيعي سوى نحو 0.1 كيلوغرام كربون لكل كيلوواط-ساعة (*انظر المخطط في اليسار*).

ولكن الازدياد الكبير في استخدام الغاز الطبيعي في الولايات المتحدة وفي بلدان أخرى رفع، لسوء الحظ، سعر هذا الوقود. فخلال العقد الماضي كان الغاز الطبيعي أسرع مصادر طاقة الوقود الأحفوري نموا، وهو يزوّد حاليا نحو 20 في المئة من كهرباء أمريكا. وفي الوقت نفسه ارتفع سعر الغاز الطبيعي من متوسط يبلغ نحو 2.5 إلى 3 دولارات لكل مليون Btu (وحدة الحرارة البريطانية) في عام 1997 إلى أكثر من 7 دولارات لكل مليون Btu اليوم.

كانت زيادات السعر خطرة لدرجة أن <A. كرينسبان> [الذي كان حينذاك رئيس مجلس المخزون الفدرالي] حذّر في عام 2003 من أن الولايات المتحدة تواجه أزمة في الغاز الطبيعي. وكان الحل الأول الذي اقترحه البيت الأبيض وبعض أعضاء الكونگرس هو زيادة إنتاج الغاز. وقد تضمن قانون سياسة الطاقة لعام 2005 معونات لدعم منتجي الغاز وزيادة الاستكشاف والتوسع في استيراد الغاز الطبيعي المُسال. ولكن هذه الإجراءات يمكن ألا تعزز الأمن الطاقي، لأن معظم الغاز الطبيعي المُسال يأتي من بعض بلدان أوبيك OPEC نفسها التي تزوّد الولايات المتحدة بالنفط. وماعدا ذلك فإن توليد الكهرباء، حتى من أنظف منشآت التوليد العاملة بالغاز الطبيعي سوف يُصدر من الكربون أكثر مما يحقق الوصول إلى هدف إبقاء ثنائي أكسيد الكربون في الجو دون



450 إلى 550 جزءا في المليون حجما. (ذلك أن مستويات أعلى من هذه يمكن أن تكون لها عواقب كارثية بالنسبة إلى المناخ العالمي).

يمكن أن يكون تحسين كفاءة الطاقة وتطوير المصادر المتجددة أسرع وأرخص وأنظف ويوافر أمنا أفضل من تطوير مصادر غاز جديدة. إن تكلفة الكهرباء من مزرعة رياح أقلّ من تلك المنتجة بوساطة منشأة توليد تعمل بالغاز الطبيعي إذا ما أخذت المقارنة بالحسبان التكلفة الكلية لبناء المنشأة وتنبآت بأسعار الغاز. أضف إلى ذلك أن مزارع الرياح والصفيفات الشمسية يمكن أن تبنى بصورة أسرع من منشآت الغاز الطبيعي ذات المقياس الكبير. والشيء الأكثر أهمية أن تنويع المصادر هو أكبر حليف لأمريكا في الحفاظ على قطاع طاقة منافس ومبتكر. إن دعم المصادر المتجددة منطقي من الناحية الاقتصادية فقط، حتى قبل أخذ الفوائد البيئية بعين الاعتبار. **D.M.K.**

الطاقة حافزا ماليا هائلا لدفع تطوير مصادر الطاقة المتجددة وطرحها تجاريا. وفي الحقيقة تمتلك الولايات المتحدة الفرصة لأن ترعى صناعة جديدة كليا. وخطر تغير المناخ يمكن أن يكون نداءً لثورة تقانة نظيفة تستطيع أن تقوّي القاعدة الصناعية في البلاد وأن تخلق آلاف الوظائف وتخفف العجز التجاري الدولي - فعوضا عن استيراد النفط الأجنبي يمكن تصدير سيارات عالية الكفاءة وتجهيزات وتوربينات رياح وخلايا شمسية. وبإمكان مثل هذا التحول أن يجعل قطاع الطاقة في البلاد شيئا كان يُعتقد أنه مستحيل: محرك نمو نابض بالحياة مستدام بيئيا. ■

The Least Bad Fossil Fuel (*)

integrated gasification combined cycle (1)

المؤلف

Daniel M. Kammen

تخرّج عام 1935، وهو أستاذ متميز في الطاقة بجامعة كاليفورنيا في بيركلي حيث يشغل عدة مناصب في مجموعة الطاقة والموارد وفي مدرسة كولدمان للسياسة العامة وفي قسم الهندسة النووية. وهو مدير مؤسس لمختبر الطاقة المتجددة الملائمة ومدير مشارك في معهد بيركلي للبيئة.

مراجع للاستزادة

Reversing the Incredible Shrinking Energy R&D Budget.
D.M. Kammen and G.F. Namet in Issues in *Science and Technology*, pages 84-88; Fall 2005.

Science and Engineering Research That Values the Planet.
A. Jacobson and D.M. Kammen in *The Bridge*, Vol. 35, No. 4, pages 11-17; Winter 2005.

Renewables 2005: Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Worldwatch Institute, 2005.

Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals.
A. E. Farrell, R. J. Plevin, B.T. Turner, A.D. Jones, M. O'Hare and D. M. Kammen in *Science*, Vol. 311, pages 506-508; January 27, 2006.

All these papers are available online at
http://rael.berkeley.edu/papers/html

Scientific American, September 2006



مستقبل واعد للدمغ الجزيئي(*)

<K. موسباخ>

منذ أكثر من ثلاثة عقود، طوَّرتُ وتلاميذي [في جامعة لوند بالسويد] مع فرق أخرى، «شِباكَ صيد» من أنماط تعمل بمقياس **النانومتر**[1] nanometer. وتمكنت تلك الشِّباك التي صنعناها من اصطياد الخلايا الحية، ثم فيما بعد اصطياد كيانات بيولوجية أصغر، مثل الإنزيمات أو جزيئات أخرى. وفي الظروف المناسبة، كان «صيدنا» يستطيع المضيَّ شهورًا في أداء مهامِّه المألوفة خارج الكائنات الحية.

لقد أثبتت هذه التقانة جاذبيتها لعشرات من التطبيقات[2]. فعلى سبيل المثال، تستخدم اليوم شبكات پلاستيكية تحوي خلايا ***الإشريكية القولونية*** *Escherichia coli* لإنتاج حمض الأسپاريتك، وهو حمض أميني يستخدم في تحضير أدوية متنوعة. وفي الصناعات الغذائية، يُحوِّل پلاستيك مطمور مع إنزيم نوعي سكرَ الگلوكوز إلى الفركتوز، الأكثر حلاوة. وساعد اتحاد آخر من شبكة وإنزيم على تصنيع سوابق المادة الپلاستيكية التي تُصنع منها الشباك. ومما يُبهجنا أن التطبيقات المحتملة للمصايد تواصل ازديادها شاملة بذلك الطب. ومن أبرز ما يذكر في هذا المجال أن الخلايا التي تحجز في الشِّباك قد تحل محل خلايا أخرى ماتت أو حدث قصور في أدائها لوظيفتها، مثل الخلايا المنتجة للإنسولين المطلوب لمرضى السكري.

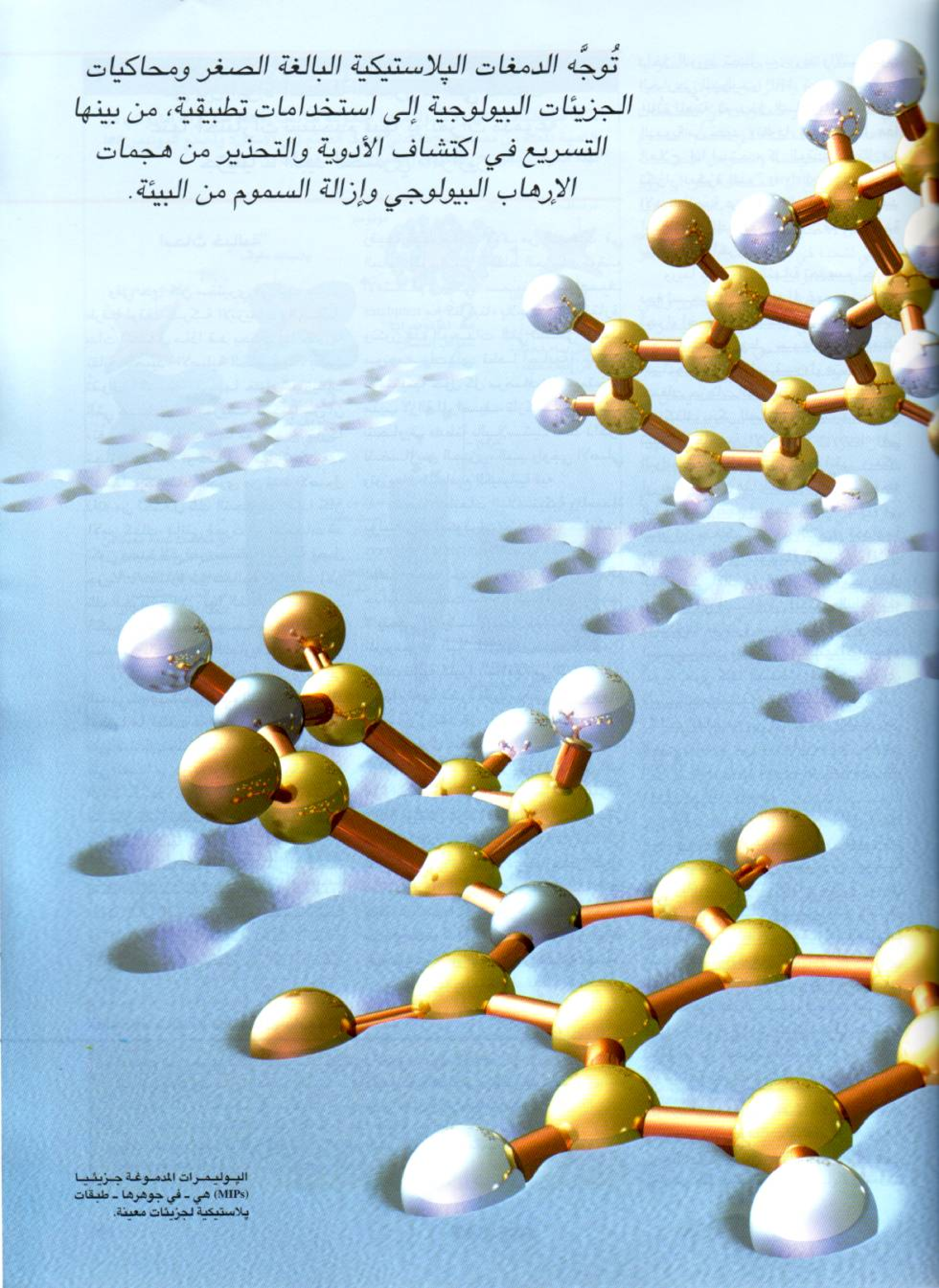
لكن أداة الصيد بالشباك الأصلية تمثل مجرد محاولة أولى لابتكار التقانات التي تزاوج المواد الپلاستيكية (اللدائن) بالجزيئات. وفي الوقت الحاضر، يختبر أكثر من 500 باحث حول العالم تطبيقات تقانة ثانية جديدة: **الدمغ الجزيئي** molecular imprinting، التي قمت (المؤلف) بدورٍ حاسم في تطويرها. لقد ابتكرت مجموعتي صيغة رائجة من هذه التقانة تستخدم أسس الكيمياء الحيوية. وقد طور باحثون آخرون طرقا تعتمد على أسس الكيمياء العضوية، من أبرزهم <G. وولف> [من جامعة هاينريتش-هاين في دوسيلدورف بألمانيا] و <J .K. شي> [من جامعة كاليفورنيا في إرفين].

وعموما، تُغطَّى خرزات أو تراكيب أخرى پلاستيكية **بدمغات** imprints من جزيئات نوعية ـ هي في الواقع **قوالب** casts للجزيئات ـ توضع قيد الاستخدام لمهام مختارة. وفور إتقانها سيصبح لهذه التقانة تطبيقات في مجالات كثيرة شاملةً صناعة المواد الغذائية، والتي تراها مفيدة في قدرتها على إزالة الملوثات، مثل السم الفُطري *أفلاتوكسين*. كذلك بدأت هذه الأدوات الجديدة تجذب اهتماما كبيرا في المجال الطبي البيولوجي، حيث يمكن أن تسرِّع المراحل الأولية من اكتشاف دواء منخفض التكلفة، ويمكن استعمالها في تنقية الدواء وفصله، كما تُسهم في تطوير الأجهزة الطبية وأدوات التشخيص.

(*) THE PROMISE OF MOLECULAR IMPRINTING

(١) هو 10^{-9} متر (جزء من بليون جزء من المتر).

(٢) انظر: *"Enzymes Bound to Artificial Matrixes,"* by Klaus Mosbach; *Scientific American*, March 1971.



تُوجِّه الدمغات الپلاستيكية البالغة الصغر ومحاكيات الجزيئات البيولوجية إلى استخدامات تطبيقية، من بينها التسريع في اكتشاف الأدوية والتحذير من هجمات الإرهاب البيولوجي وإزالة السموم من البيئة.

البوليمرات المدموغة جزيئيا (MIPs) هي ـ في جوهرها ـ طبقات پلاستيكية لجزيئات معينة.

من بين المواد المحتملة الضرر ـ التي كشفت عنها اختبارات تستخدم فيها پوليمرات مدموغة جزيئيا ـ المبيد الحشري «أترازين».

أبحاث خيالية[*]

وفي حين كان مُخْتَبَري في لوند يدرس طرقًا لوقف حركة الإنزيمات والخلايا، بدأتُ أتساءل ماذا قد يحدث إذا حورنا تقانة «الصيد» الأصلية الخاصة بنا، بحيث تُقولَب[1] الشبكة نفسها حول الجزيئات التي صادتها بطريقة تُمكننا من أن «نَغْسِلَ» من الشباك ما تم صيده، تاركا تجاويف دائمة أو دمغات. فهل تُمَكِّن هذه الدمغات جزيئات أخرى من نمط الأصول ذاته من احتلال تلك التجاويف؟ فإذا كان الأمر كذلك، فإنني قدّرت أن الدمغات قد تكون مفيدة لأغراض مختلفة، شاملة فصل جزيئات مختارة من مخاليط المركبات (لأن تلك الجزيئات التي لها الشكل والمجموعات الكيميائية الصحيحة هي فقط التي ستستقر بإحكام في التجاويف).

ولأكثر من عشرين عاما، أجرى فريقي البحثي تجارب لتطوير هذه التقانة الثانية. لقد أنجزنا ما أطلقت عليه «أبحاثا خيالية»، لأنه كان علينا أن نختبر المبدأ وراء الفكرة اعتمادا على أنفسنا من دون تمويل رسمي. وخلال ذلك الوقت، سمعت بطريقة غير رسمية أن مُمَوِّلين محتملين كانوا يعتقدون أن نظريتي تبدو مفرطة في التخيل، كأنها من أعمال السحر.

واكتشفنا عبر العقود طرائق لصنع دمغات پلاستيكية للجزيئات، وبدأ قدوم الدعم المالي الخارجي. ولقد نجحنا أيضا في أن تظل الطريقة بسيطة، بحيث لا نحتاج إلاّ إلى بضعة أيام لنصنع خرزات أو أغشية رقيقة فيها مئات الآلاف من الدمغات. في البداية، يقوم التِّقني[2] بخلط الجزيئات موضع الاهتمام ـ والتي أسميناها **مراصيف** templates مع كُتل بناء پلاستيكية مختارة. وتكوِّن هذه الوحدات، التي تسمَّى أيضا مونوميرات (أي: قطعا أحادية)، شبكة پلاستيكية حول كل مرصاف؛ ثم يُستخدم مذيب لإزالة المراصيف، تاركا مادة مُرقَّشة بتجاويف مبطنة بالپلاستيك تملك ذاكرة لتضاريس الجزيء البيولوجي الأصلي وتوزيعات المجاميع الكيميائية فيه.

وتتميز الطبعات الپلاستيكية والمسماة **پوليمرات (مكوثرات) مدموغة جزيئيا** molecularly imprinted polymers، أو كما أطلقت عليها اختصارا MIPs، بعدة معالم جذابة. فقد كانت معقولة الثمن، لأن إنتاجها لا يتطلب إلا وقتا قليلا نسبيًا، ولأن المونوميرات الپلاستيكية رخيصة الثمن، وكانت تشبه كثيرا أسلافها في قدرتها على البقاء ثابتة فترةً طويلة، حتى في الظروف القصوى. ولقد ظلَّ بعض تحضيراتنا يقوم بوظيفته طوال عام كامل.

وإزالة المواد غير المرغوب فيها من الدم هو واحد من الاستعمالات الكثيرة للپوليمرات MIPs. ويمكن عرض دمغات المواد التي نحن بصددها على خرزات پلاستيكية متراصة في أنابيب. ويمكن أن يعتمد مريض بفشل كلوي، مثلا، على أنبوب واحد، أو على عدة أنابيب يُضم بعضها إلى بعض في جهاز يُحفظ خارج جسمه ليزيل مادة خطرة من دورته الدموية. وبمرور دم المريض خلال أنبوب داخل الوريد تصل بين وريد والأنبوب الخارجي للپوليمر MIP، تجمع الخرزات المادَّة المعيَّنة؛ ثم يدخل السائل المنظف الدورة الدموية من جديد. ونظريا، يستطيع مثل هذا العلاج، إذا استخدم كل الوقت، أن يقلل من تكرار **ديلزة الدم**[3] hemodialysis. ويمكن الاستعاضة عن وحدة الپوليمر MIP عند امتلائها بالمادة غير المرغوب فيها بوحدة پوليمر MIP أخرى.

وربما يمكن في النهاية تصميم أجهزة دمغ لسحب المواد غير المرغوب فيها من أجزاء أخرى في الجسم أيضا، مثل القناة المعدية المعوية. وعلى سبيل المثال، يمكن استخلاص الكولستيرول من المحاليل بدمغات جزيئات الكولستيرول.

كذلك يمكن للصناعة الصيدلانية أن تستثمر خاصية **الانتقائية** selectivity في الپوليمرات MIPs لصنع أدوية أنقى. ويمكن أن يصبح مثل هذا النقاء مهمًا على وجه الخصوص عندما يوجد جزيء الدواء في صورتين متعاكستين (مرآتيّتين)، إحداهما نافعة والأخرى محتملَة الضرر. والمثال الكلاسيكي لذلك هو العقار ثاليدوميد. فقبل أن يدرك أي إنسان أن للشكل النافع منه نسخة مناظرة ضارة، تم في أواخر الخمسينات وبواكير الستينات وصف أدوية تحوي كلتا النسختين لعلاج سيدات، لأسباب مختلفة، في عشرات الأقطار. وكانت الفاجعة في أن الشكل الضار من الجزيء تسبب في تشوهات حادة ربما في 10 000 طفل ولدوا لسيدات تعاطين ذلك الدواء في أثناء الحمل.

وكثيرًا ما يقوم أصحاب مصانع الأدوية بتخليق صورتين منفصلتين من الجزيئات ذات الأشكال المرآتية (صورتين يمينية ويسارية)، لكن طرائق الإنتاج يمكن أن تعمل على تكوين كميات صغيرة من الشكل الجزيئي غير المطلوب. ومقارنة بالتقنيات التجارية المعتادة، فإن تلك التي تعتمد على الپوليمرات MIPs قد تثبت كفاءة أكثر في الكشف عن الشكل غير المطلوب لجزيء الدواء وإزالته، لأن كل شكل منه لن يستقر تماما إلا في التجويف المناسب له.

وإتاحة قدرات الكشف للپوليمرات MIPs

نظرة إجمالية/ تطبيقات نانوپلاستيكية[**]

- **الدمغات الپلاستيكية لجزيئات نوعية ـ پوليمرات مدموغة جزيئيا (MIPs) ـ لن تقتنص إلا تلك الجزيئات وحدها. ولذلك يمكن استخدام الپوليمرات MIPs لفصل مواد مرغوب فيها من مزيج غير نقي او للكشف عن مُمْرِضات أو سموم في البيئة أو في عينات الدم.**
- **وتعمل حاليا شركات ناشئة على الإفادة من هذه التقانة تجاريا.**
- **وقيد التطوير أيضا نوعان متباينان من الجيل التالي من هذه التقانة، يعرفان بالدمغ المزدوج double imprinting والقولبة المباشرة direct molding.**

(*) Moonshine Research
(**) Overview/ Nanoplastic Applications
(١) mold
(٢) technician أو فني.
(٣) إزالة المخلفات والمواد الضارة من الدم كما هي الحال في جهاز الكلية الصنعية. (التحرير)

جعلت بعض الشركات والمؤسسات الحكومية المعنية بالإرهاب والأمراض الطارئة تضعها في عين الاعتبار كمكونات في **المحَسَّات** sensors التي تستخدم في تَشَمّم السموم والكائنات المُمْرضة (العوامل المسببة للأمراض). ومع أن المحَسَّات يمكن أن تُزوَّد حاليا بجزيئات بيولوجية تقوم بالتَّشَمُّم، فإنها في بعض الأحيان لا تكون قوية بالقدر الكافي لتحيا في بيئات أكثر وُعورة مما هو في حدود المختبرات.

ومن بين المواد المحتملة الضرر والتي تم كشفها في اختبارات البوليمرات MIPs، المبيد العشبي **أترازين** atrazine. وكذلك تعرفت التجاويف البلاستيكية غاز السارين، وهو غاز أعصاب يمكن أن يُستخدم سلاحَ إرهاب بيولوجيا. (ولقد صار معروفا استخدام غاز السارين لهذا الغرض عندما أطلقت في أواسط التسعينات طائفة دينية هذا السم مرتين في اليابان. ولقد قتل الغاز 19 شخصا وآذى الآلاف). ويمكن أن تستثمر البوليمرات MIPs أيضًا للكشف عن أبواغ الأنثراكس (مرض الجمرة) وهي العوامل السيئة السمعة التي وضعت داخل المظاريف وأُرسلت إلى مسؤولي الحكومة الأمريكية وإلى بعض الإعلاميين في خريف عام 2001.

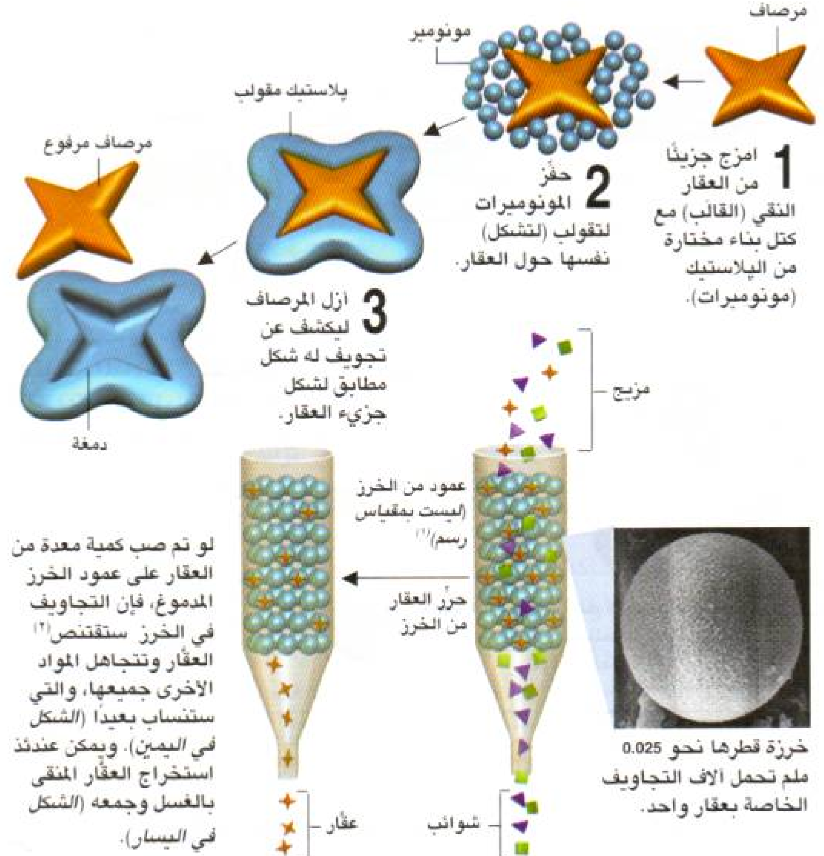
ولكنْ ثمة ما هو أعجب، وذلك أن محَسَّة واحدة مجهزة بأنواع متعددة من البوليمرات MIPs يمكنها تَعرُّف عدة مركبات في عينة وحيدة دفعة واحدة. ويمكن تركيب هذه المحسة المتعددة الوظائف على شيپة إلكترونية، تقوم عند كشف واحدة من المواد المستهدفة، بإرسال «كلمة» إلى مُستقبِل تنبئ عن وجوده. ويمكن عندئذ لأوعية منفصلة بأعداد كبيرة من البوليمرات MIPs أن تزيل المواد غير المرغوب فيها. وقد أبدت الحكومة والصناعة اهتمامًا ضخمًا بوحدات تكوَّن وفق تلك الخطوط للتنظيف البيئي للبحيرات والخلجان الصغيرة والتربة.

شكل يساوي وظيفة(*)

في حين يعتمد كثير من تطبيقات البوليمرات MIPs على قدرته على اصطياد الجزيئات أو الكائنات الدقيقة التي تضاهي مرصافًا خاصا، ثمة تطبيقات أخرى تتضمن قولبة البلاستيك لمحاكاة جزيء

كيف تُصنع البوليمرات MIPs(**)

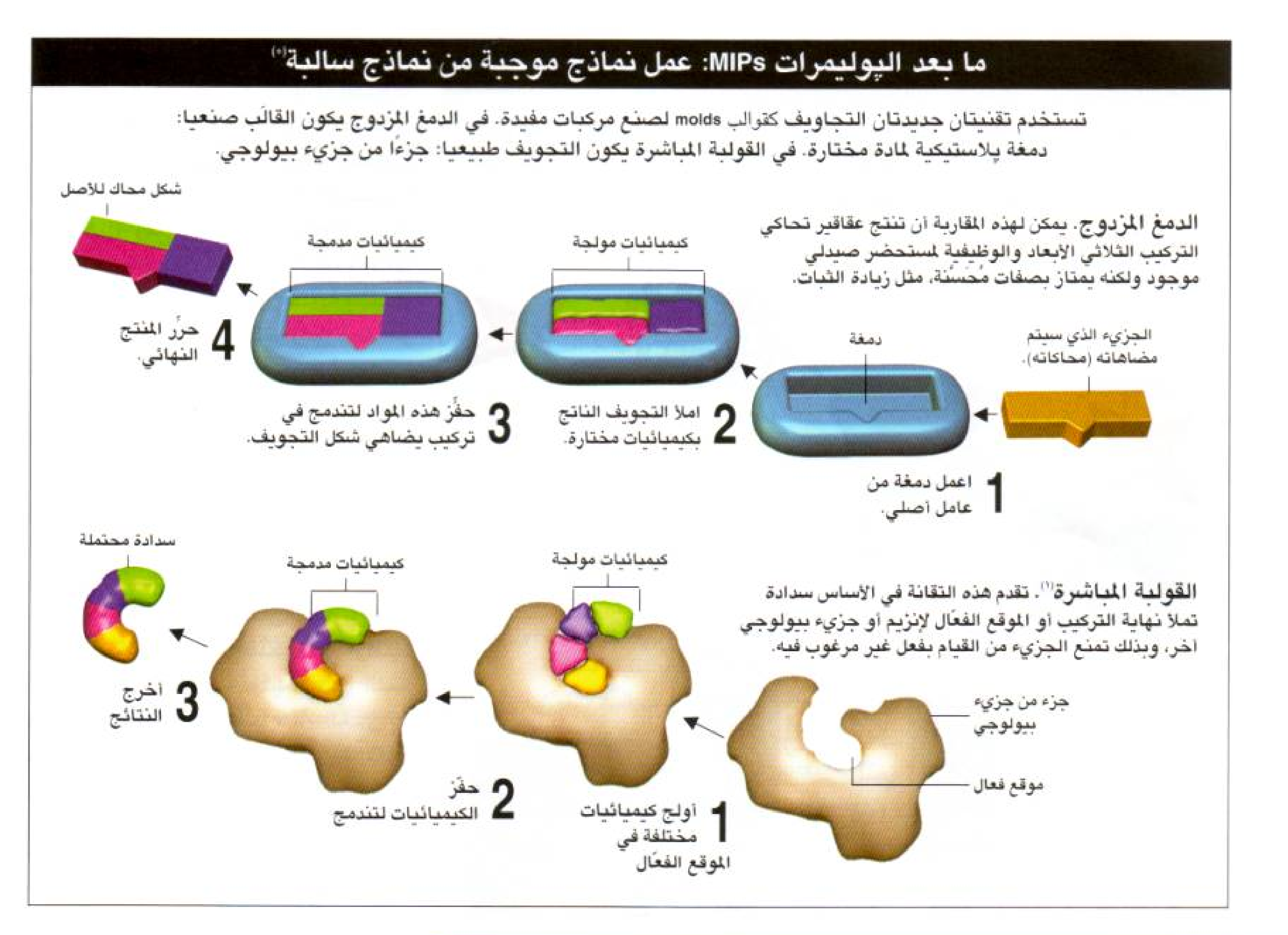
هناك استخدامات كثيرة للبوليمرات المدموغة جزيئيًا (MIPs) مثل إزالة الشوائب من الكمية المعدة من مستحضر صيدلي حديث الصنع (*في الأسفل*). ولصُنع البوليمر MIP لهذا الغرض، يجب على التقنيين (الفنيين) تتبع الخطوات من 1 إلى 3.



طبيعي، كضِدّ (جسم مضاد)، كله أو جزء منه. ويصنع الجسمُ الأضدادَ طبيعيا عندما يلاحظ الجهاز المناعي مكونات معينة، أو مستضدّات (أنتيجينات) لمواد غريبة، مثل ڤيروس أو بكتيرة وجدت طريقها داخل عائل حي. ولجزيئات الأضداد **نوعية** specificity عالية - إذ يرتبط كل نمط منها بقوة بجزيء خاص، في حين يتجاهل الجزيئات الأخرى جميعها، مثلما يلج مفتاح في قُفل معين. ولهذا السبب استثمر مطورو الاختبارات التشخيصية الأضداد منذ زمن طويل. فعندما تُعرض أضداد معينة لعينة دم، مثلا، سترتبط ببكتيرة خاصة إذا وجدت، دالّةً على أن ذلك الشخص معدى بها. وقد تكشف أضداد أخرى عن تركيزات پروتينات متنوعة في الدم.

وحقن پروتينات غريبة أو مركبات أخرى في الماعز أو حيوانات أخرى هو إحدى الطرائق التي يُنتج بها صانعو وسائل التشخيص الكميات المطلوبة من الأضداد؛ ثم يقوم التقنيون باستدماء الحيوانات للحصول على الأضداد الناتجة. ويمكن أيضًا صُنع محاكيات طويلة الأمد من الأضداد بدمغ البلاستيك بمستضدٍّ معين. عندئذ، ستمتلك البوليمرات MIPs الناتجة بصورة أساسية ذات موقع ارتباط المستضد بالضدّ المناظر له. ومثل هذه «**الأجسام البلاستية**» plastibodies، كما أطلق عليها مختبري، يمكن أن تحل محل الأضداد في اختبارات كثيرة، وبذلك تُختزل الحاجة إلى استخدام الحيوانات. (وبالمناسبة، إن تطوير الأجسام البلاستية، الذي من أجله تسلمت

(*) Form Equals Function
(**) How MIPs Are Made
(١) not to scale
(٢) capture



جائزة نُودك لبدائل تجارب الحيوانات، كان الجزء الوحيد من عملي العلمي الذي أدركَتْه تماما إحدى بناتي وصفقت له استحسانًا عندما كانت مراهقة).

وقد تصلح البوليمرات MIPs أيضًا كبدائل طويلة الأثر للإنزيمات في الصناعة. وفي الطبيعة، ينتج كل كائن آلاف الإنزيمات، يحفز كل منها تفاعلا كيميائيا حيويا نوعيا، مثل شطر جزيء خاص في مكان محدد أو دمج مادتين معا. ويحدث التفاعل عموما عندما يتطابق مُسْتَهْدَف الإنزيم، أو المادة المتفاعلة، مع أخدود على الإنزيم يُعرف بالموقع الفعال.

ولعمل إنزيمات صنعية، أو «پلاستيزيمات» plastizymes، حاول مختبري ومجموعات أخرى تخليق تجاويف پلاستيكية هي دمغات ذات أشكال خاصة من المواد المتفاعلة ومنْ ثَمَّ تحاكي الشكل الثلاثي الأبعاد للموقع الفعّال للإنزيم الحقيقي. والمونوميرات (القطع الأحادية) التي نعتمد عليها، والپلاستيزمات الناتجة، لها مجموعات كيميائية مشابهة لتلك الموجودة في الإنزيمات الطبيعية. ولقد نتج من أول المجهودات التي سارت على هذه الخطوط بعض النشاط الإنزيمي، ولكن مازال علينا أن نجد وسائل لنجعل البوليمرات MIPs تعمل بكفاءة أكثر. وتستطيع الپلاستيزمات القيام بفاعليات لا تستطيع إنزيمات طبيعية تم اكتشافها حتى الآن القيام بها ـ مثل إزالة سمية مواد معينة بتكسيرها إلى أجزاء.

> إن الاهتمام المتزايد من قبَل الصناعات الصيدلانية والتقانات البيولوجية، يشجعنا على المضي قدما في أبحاثنا.

الجيل التالي(**)

تتابع مجموعتنا حاليا مسارين فرعيَّين من تقانة MIP: يُنتج واحد منهما مُحاكيًا لجزيء أصلي. وبدقة أكثر، يولِّد مادة لها الشكل الثلاثي الأبعاد والقدرات الوظيفية بعينهما كالأصل ـ ويستمد المحاكي وظيفته من الشكل المضاهي ومن احتوائه نظام الشحنات ذاته عند مواضع محدَّدة. ونحن نشير إلى هذه التقانة باسم **الدمغ المزدوج** double imprinting، لأنها تتضمن صنع جزيء جديد من دمغة ـ أي، هي في أساسها دمغة لدمغة. بعد صُنع الدمغة الأولى، استخدمنا التجويف الناتج **كقالَب فائق الصغر** tiny mold (أو **كوعاء نانوي** nanovessel)، ووضعنا شظايا من الجزيئات أو أسلافًا من البوليمرات الپلاستيكية داخل الوعاء النانوي؛ ومن ثم سمحنا للمكونات أن تترابط في تركيب مفرد يضاهي شكل التجويف الفائق الصغر.

(*) Beyond MIPs: Making Positives from Negatives
(**) The Next Generation
(1) direct molding

وقد تساعد هذه الاستراتيجية شركات الأدوية التي تُخلِّق عقاقير لها علاقة بأخرى متاحة فعلا. وتصنع شركات الأدوية مثل هذه الصور المقاربة لتُدخل تحسينات على الأصول أو لإنتاج مركبات تؤدي الغرض نفسه الذي تؤديه المركبات التي مُنحت براءات اختراعها للمنافسين. ولكن الطريقة النموذجية الحالية تتطلب تطوير ما يعرف **بالمكتبة التوافيقية** combinatorial library، التي يمكن أن تتكون من عشرات الآلاف من المركبات المتصل بعضها ببعض. ويتم اختيار كل مركب قائم بذاته على قدرته على الارتباط بجزيء بيولوجي معين (جزيء يُمكن، بالمناسبة، أن يحل محل پوليمر MIP مناظر أكثر ثباتا)؛ ثم تُختبر المواد التي ترتبط، هي أيضًا. وهكذا يتم تحديد الدمغ المزدوج بدرجة أدق. إننا نمزج ونضاهي مواد تم صبها في وعاء نانوي تم تخليقه بالدمغ، متطلعين إلى معرفة أي ترابطات لها خصائص واعدة. وبمقارنتها بما يسفر عنه مسح المكتبات التوافيقية، يستطيع أسلوبنا أن يحصر إلى حد كبير عدد الخطوات المطلوبة للوصول إلى اختيارات جيدة لمتابعة الاختبار.

والتقانة الأخرى، التي أطلقنا عليها **القولبة المباشرة** direct molding لا تشتغل بها إلا مجموعات قليلة. وتستخدم هذه التقانة جزيئًا بيولوجيا غالبا ما يكون إنزيما أو الجزء الذي يحتوي على موقعه الفعّال كشيء شبيه بالوعاء الثانوي لتوليف دواء جديد - وهو مدخل يمكنه، مثلا، أن يُعَجِّل اكتشاف العوامل التي تثبط إنزيمات مختارة. وتقريبا، فإن ثلث مجمل الأدوية التي في السوق حاليا هي مثبِّطات لإنزيمات، وثمة طرائق أخرى أكثر كفاءة لاكتشاف أعضاء أخرى من هذه الفئة قد تكون ذات قيمة.

فلنفترض أن صانعا للدواء يريد تثبيط إنزيم يَحفز التفاعلات المُتَضَمَّنَة في **النمو الانتقالي** metastatic للأورام. قد يكون الحل الجيد للمشكلة تخليق جزيء يَسُدّ الموقع الفعال للإنزيم، وهذا يمنع ذلك الموقع من التآثر مع مادته المتفاعلة المضادة. ويستطيع الباحثون أن يتفحصوا على غير بصيرة جميع أنواع المركبات، آملين أن يعثروا على سدادة عظيمة. ولكنهم يستطيعون أيضا إيلاج مونوميرات ومواد كيميائية صغيرة أخرى في الموقع الفعّال - وهذا يشبه كثيرا طريقة الدمغ المزدوج. ويمكن عندئذ اختبار الاتحاد الذي تنتج منه وحدة محكمة التوافق لنرى هل تنجح في تثبيط الإنزيم في الخلية الحية.

وكما هي الحال مع جميع التقانات والتطبيقات النوعية المستحدثة، يجب مواجهة مشكلات صنعية معينة لها علاقة بالپوليمرات MIPs. فنحن في حاجة إلى أن نفهم كيف نزيد كميات الدمغات التي يمكن أن نصنعها. وعلينا أن نتأكد من أن نسخة من دمغة ما تكون مطابقة دائما للنسخ الأخرى؛ ثم إننا نبتغي أن نطوِّر وسائل فعالة لفصل **المراصيف بالغسل** flush out.

وكغيرنا ممن يعملون في هذا المجال المتنامي ويجاهدون في التغلب على العقبات الباقية بغية تحسين الپوليمرات MIPs وخلائفها، فإن ما يشجعنا على المضي في طريقنا هو تزايد اهتمام المشتغلين بالصناعات الصيدلانية والتقانية الحيوية. وإنه لا تنقطع دهشتي لإدراكي أن البشر في الوقت الحاضر يستطيعون في غضون أيام تصنيع أنماط من أشكال جزيئية أمضت الطبيعة ملايين السنين في إنجازه وإنني لأتشوق إلى الوقت الذي تكون فيه هذه المقدرة رهن استعمال واسع الانتشار لتعجيل اكتشاف الأدوية ولتدعيم منظومة من التطبيقات الأخرى. ■

بعض الشركات التي تستعمل الپوليمرات MIPs(*)

الشركة	عينة من أنشطتها
Aspira Biosystems Burlingame, Calif.	تستخدم قطعة مختارة من پروتين كمرصاف في تقنية تسمى الدمغ الجزيئي الجزئي، وتتوقع أن يطبق هذا الأسلوب في الأبحاث الطبية والعلاج.
MIP. Globe Zurich, Zwitzerland	تمارس معظم أوجه الدمغ الجزيئي، شاملة تطبيقات ذات علاقة باكتشاف الدواء.
MIP*Solutions* Las Vegas, Nev.	تُطور تقانة للمساعدة على إعداد ماء شرب آمن من خلال إزالة الملوثات وللاستخدام في معالجة مياه الصرف وعمليات التعدين المعتمدة على الماء.
MIP Technologies Lund, Sweden	تُصمم أدوات لاستخلاص وفصل المواد من أخلاط معقدة بمقاييس تحليلية وصناعية، والتقانة مُعدة لصناعات صيدلانية وكيميائية وغذائية ولصناعات أخرى.
POLYIntell Rouen, France	تصمم پوليمرات للاستخدام في التنقية والاستشعار: توليد أضداد صنعية وإنزيمات قيد الطلب، وللاستخدام في صناعات صيدلانية وصناعات أخرى.
Semorex North Brunswick, N. J., and Ness Ziona, Israel	تطور أدوات يدوية داعمة(1) تساعد الأطباء على تشخيص أمراض مسببة للعدوى والسرطان الباكر أو تلك التي تسمح للعاملين في المجال العسكري والأمن والطوارئ بالكشف عن عوامل كيميائية حربية ومتفجرات في المعركة وتعرّفها بسرعة.

(*) Some Companies Using MIPs
(1) handheld devices

المؤلف

Klaus Mosbsch

أستاذ ومؤسس قسم الكيمياء الحيوية البحتة والتطبيقية ومركز الدمغ الجزيئي في جامعة لوند بالسويد. شارك أيضا في تأسيس قسم التقانة الحيوية في المعهد السويسري الفدرالي للتقانة (ETH) بزيورخ؛ وأسس مع آخرين الشركة MIP-Globe، وهي شركة تركز اهتمامها على الدمغ الجزيئي.

مراجع للاستزادة

Drug Assay Using Antibody Mimics Made by Molecular Imprinting. G. Vlatakis, L. I. Andersson, R. Müller and K. Mosbach in *Nature*, Vol. 361, pages 645–647; February 18, 1993.

The Emerging Technique of Molecular Imprinting and Its Future Impact on Biotechnology. K. Mosbach and O. Ramström in *Bio/Technology*, Vol. 14, pages 163–170; February 1996.

Formation of a Class of Enzyme Inhibitors (Drugs) Including a Chiral Compound by Using Imprinted Polymers or Biomolecules as Molecular-Scale Reaction Vessels. Y. Yu, L. Ye, K. Haupt and K. Mosbach in *Angewandte Chemie: International Edition*, Vol. 41, pages 4459–4463; 2002.

Two Ways to Shape New Drugs. S. Borman in *Chemical and Engineering News*, Vol. 81, No. 2, page 40; 2003.

Molecularly Imprinted Materials Science and Technology. Edited by M. Yan and O. Ramström. CRC Press, 2004.

Klaus Mosbach's Web sites: **www.klausmosbach.com** and **www.MIP-Globe.com**

Scientific American, October 2006

مرايا في العقل(*)

يعكس صنف خاص من خلايا الدماغ مشهد العالم الخارجي، كاشفا عن سبيل جديد من أجل الفهم والربط والتعلُّم لدى البشر.

<G. ريزولاتي> ـ <L. فوكاسي> ـ <V. كاليسّي>

<جمال> يراقب <مريم> وهي تقطف زهرة. و<جمال> يعرف ما الذي تفعله <مريم> ـ إنها تلتقط زهرة ـ وهو بدوره يعرف كذلك لماذا تفعل <مريم> ذلك. تبتسم <مريم> لـ<جمال>، وهو يظن أنها ستعطيه الزهرة كهدية. وهذا المشهد يدوم لحظات فقط، ويكون إدراك <جمال> لما يحدث فوريًا. ولكن كيف يفهم <جمال> ما تفعله <مريم> بالضبط وكذلك قَصْدها بهذه الدرجة من التلقائية؟

قبل عقد من السنين كان معظم علماء الأعصاب والمختصين في علم النفس يعزون فهم الفرد لأفعال فرد آخر، ولاسيما مقاصده، إلى عملية محاكمة سريعة لا تشبه تلك التي تستخدم لحلّ مسألة منطقية: بمعنى أن **جهازا معرفيا** cognitive apparatus معقّدا في دماغ <جمال> قد هيأ استيعاب معلومات حواسه ومقارنتها بخبرات مختزنة لديه، مما سمح لـ<جمال> بالتوصل إلى استنتاج عمّا كانت <مريم> ستنتهي إليه ولماذا.

ومع أن مثل هذه العمليات الاستدلالية المعقدة ربما تحدث بالفعل في بعض المواقف، وبخاصة حينما يصعب تفسير سلوك شخص ما، فإن السهولة والسرعة التي نفهم بها نمطيا أفعالا بسيطة، إنما تلمّح إلى تفسير مباشر أكثر. ففي أوائل تسعينات القرن الماضي وجدت مجموعتنا البحثية جوابا لذلك على نحو عَرَضيٍّ لدى صنف مستغرب من العصبونات في دماغ نسناس **تضطرم** fire حينما يقوم بحركات بسيطة التوجيه، مثل التقاط قطعة من الفاكهة. والمستغرب هو كون هذه العصبونات بالذات تضطرم كذلك حينما يرى شخص شخصا آخر يؤدي الفعل نفسه. ونظرا لأن هذه **المجموعة الجزئية** subset من الخلايا المكتشفة حديثا بدت أنها تعكس بشكل مباشر أفعالا تؤديها مجموعة أخرى في دماغ المشاهد، فقد أطلقنا عليها اسم **العصبونات المرآتية** mirror neurons.

يُعتقد أن الكثير من دارات العصبونات التي تختزن ذاكرات معينة داخل الدماغ، هي مجموعات خلايا مرآتية يبدو أنها **تكوِّد مراصف** encode templates لأفعال معيَّنة. وقد تسمح هذه الخاصِّية للشخص لا أن يؤدي فقط إجراءات محركة أساسية من دون تفكير بها، بل وأن يفهم كذلك هذه الأفعال حينما يشاهدها من دون أي حاجة إلى تفكير معين بشأنها. إن <جمال> يستوعب فعلة <مريم>؛ لأن هذه الفعلة، وإن كانت تحدث أمام عينيه، إنما تحدث كذلك في الواقع داخل رأسه. ومن المهم أن نلاحظ أن بعض فلاسفة تعرّف الظواهر افترضوا منذ القدم أن على المرء أن يختبر الشيء بنفسه كي يفهمه حقًا. ولكن بالنسبة إلى علماء الأعصاب، فإن اكتشاف أساس مادي لهذه الفكرة في الجهاز العصبوني المرآتي يمثّل تغيُّرا مثيرا في طريقة فهمنا للطريقة التي نفهم بها.

تعرُّف فوري(***)

لم تكن مجموعتنا البحثية تسعى إلى تأييد أو رفض موقف فلسفي أو آخر حينما شاهدنا العصبونات المرآتية لأول مرة. فقد كنا ندرس **القشرة المخيّة المحركة** motor cortex ولاسيما منطقة تُسمى F5 تلازم حركات اليد والفم، وذلك بقصد أن نتعلّم كيف تقوم نماذج مضطرمة من العصبونات بتكويد الأوامر لأداء أفعال معيَّنة. ولهذا الغرض، كنا نسجِّل نشاط عصبونات فرادى في أدمغة نسانيس المكّاك. لقد ضمّ مختبرنا تشكيلة كبيرة من المنبِّهات للنسانيس. وأثناء أداء النسانيس أفعالا مختلفة مثل إمساك دمية أو قطعة طعام كنا نرى مجموعات متميِّزة من العصبونات **تَفْرَغ** discharge شحنتها أثناء تنفيذ أفعال محرِّكة معيَّنة.

بدأنا بعدئذ نلاحظ شيئا غريبا: فحينما

نظرة إجمالية/ اجتماع العقول(**)

- تستجيب مجموعات جزئية من العصبونات في أدمغة بشرية ونسناسية عندما يؤدي فرد ما أفعالا معينة وكذلك عندما يلاحظ الفرد أناسا آخرين يؤدون الحركات نفسها.
- توفر هذه «العصبونات المرآتية» mirror neurons خبرة داخلية مباشرة، وتوافر من ثم فهمَ أفعال الشخص الآخر ومقاصده وانفعالاته.
- وكذلك يمكن للعصبونات المرآتية أن تحدّ القدرة على تقليد ما يفعله شخص آخر، ومن ثم أن يتعلّم جعل الآلية المرآتية جسرا بين أدمغة فرادى من أجل التخاطب والاتصال على مستويات متعددة.

(*) MIRRORS IN THE MIND
(**) Oveview/ Meeting of Minds
(***) Instant Recognition



يستطيع الفعل الذي يؤديه شخص أن ينشّط مسارات محركة في دماغ شخص آخر مسؤولة عن أداء هذا الفعل نفسه. وفي أعماقه، يفهم الثاني ما يقوم به الشخص الأول لأن الآلية المرآتية (*المبيّنة في الصورة*) تجعله يتقمّص هذه الخبرة في عقله.

أمسك أحدنا قطعة طعام أخذت عصبونات النسناس تضطرم بالطريقة ذاتها التي تضطرم بها حينما تمسك النسانيس قطعة الطعام. في البداية تساءلنا هل يمكن أن تكون هذه الظاهرة نتيجة عامل تافه ما، كقيام النسناس بأداء حركة غير ملحوظة أثناء مشاهدته أفعالنا. ولكن ما إن أقصينا هذه الإمكانية وغيرها، بما في ذلك توقُّع النسانيس للطعام، حتى تحقّقنا من أن نمط النشاط العصبوني الذي يرافق الفعل المشاهَد إنما هو تمثيل حقيقي في الدماغ للفعل نفسه بغض النظر عمّن يؤديه.

في الأبحاث البيولوجية غالبا ما تكون الطريقة الأكثر تسديدا لتحديد وظيفة إحدى الجينات أو البروتينات أو مجموعات الخلايا، هي ببساطة إزالة تلك البنية ومشاهدة عيوب أو نقائص سلوك أو صحة المتعضِّية الحيّة. ولكننا لا نستطيع استخدام هذه التقنية لتحديد دور العصبونات المرآتية، لأننا وجدناها تنتشر عبر مناطق مهمة في جانبي الدماغ، بما في ذلك القشرتين المخيتين: **أمام المحرِّكة** premotor **والجدارية** parietal. فإتلاف المنظومة العصبونية المرآتية جميعها قد يتسبب في مثل هذه العيوب **المعرفية** cognitive العامة الواسعة في النسانيس، مما يجعل التحديد الدقيق للتأثيرات النوعية للخلايا المفقودة أمرا مستحيلا.

وهكذا، تبنّينا من جانبنا استراتيجية مختلفة. فلكي نختبر ما إذا كانت العصبونات المرآتية تؤدي دورا في فهم الفعل بدلا من مجرد تسجيله بصريًا، قمنا بتقدير الاستجابات العصبونية حينما تفهم معنى الفعل من دون رؤيته فعليًا. فإذا كانت العصبونات المرآتية تدير الفهم حقًا، تكون حُجّتنا بأن نشاطها يجب أن يعكس معنى ذلك الفعل بدلا من معالمه الإبصارية؛ ولذلك أجرينا سلسلتين من التجارب.

قمنا أولا باختبار ما إذا كانت العصبونات المرآتية F5 تستطيع «**تعرُّف**» recognize الأفعال انطلاقا من أصواتها فقط. لقد سجّلنا العصبونات المرآتية أثناء مشاهدة النسناس فعلا محركًا يدويًا، مثل تقطيع صفحة من الورق أو تكسير قشرة بندق يرافقه صوت مميّز. وبعدئذ عرضنا على النسناس الصوت لوحده، فوجدنا أن العديد من العصبونات المرآتية F5 التي استجابت للمشاهدة الإبصارية لأفعال رافقتها أصوات، تستجيب كذلك للأصوات لوحدها، وسمينا هذه المجموعات الفرعية الخلوية **عصبونات مرآتية سمعية إبصارية** audiovisual mirror neurons.

وبعدئذ وضعنا نظرية تفترض أنه إذا كانت العصبونات المرآتية تضطلع حقا بفهم أحد الأفعال، فإنها لابد كذلك أن **تَنْفَرِغ** discharge حين لا يرى النسناس حقيقة ذلك الفعل، بل لديه **دالأت** clues كافية لتكوين **تمثيل عقلي** mental representation لذلك الفعل. وهكذا، عرضنا على النسناس بادئ ذي بدء **مجرِّبا** experimenter يسعى إلى التقاط قطعة طعام؛ ومن ثم وضعنا شاشة أمام النسناس بحيث لا يستطيع رؤية يد المجرِّب وهي تمسك قطعة الطعام، ولكن يستطيع فقط أن يخمِّن نتيجة الفعل. ومع ذلك، فإن أكثر من نصف عدد العصبونات المرآتية F5 انفرغت حين استطاع النسناس مجرّد تخيُّل ما كان يحدث خلف الشاشة.

لذلك أكدّت هذه التجارب أن نشاط العصبونات المرآتية يحدِّد فهم الأفعال المحركة: فعندما يكون من الممكن فهم فعلٍ ما على أساس غير إبصاري، كصوت أو تمثيل عقلي ما، فإن العصبونات المرآتية تظلُّ تَنْفَرِغ لتؤشِّر معنى ذلك الفعل.

ويعد هذه الاكتشافات في دماغ النسناس، تساءلنا بشكل طبيعي ما إذا كانت المنظومة العصبونية المرآتية توجد كذلك لدى البشر. فحصلنا أولا على دليل قوي بأن الإنسان يمتلك مثل هذه المنظومة، وذلك عبر سلسلة تجارب استخدمت تقنيات مختلفة لكشف التغيُّرات في نشاط **القشرة المخية المحركة** motor cortex activity. فحين شاهد المفحوصون المجرِّب يلتقط أشياء أو يؤدي إيماءات لا معنى لها بيده على سبيل المثال، أوحى التفعيل العصبي المتزايد في عضلات أيديهم وأذرعهم التي تضطلع بتلك الحركات ذاتها باستجابة عصبونية مرآتية في **الباحات** areas المحركة من أدمغتهم. كذلك فإن تحريات إضافية استخدمت فيها قياسات خارجية مختلفة للنشاط القشري المخي، مثل التخطيط الدماغي الكهربائي، دعمت فكرة وجود منظومة عصبونية مرآتية لدى البشر. ولكن ما من واحدة من هذه التقنيات التي استخدمناها حتى الآن سمحت لنا بتحديد الباحات الدماغية الدقيقة التي تفعّلت حين شاهد المفحوصون الأفعال المحركة؛ ولذلك انطلقنا لاستكشاف هذه المسألة بتقنيات مباشرة لتصوير الدماغ.

لقد كان نموذج النشاط تمثيلا صادقا في الدماغ للفعل نفسه بغضّ النظر عن الشخص الذي كان يؤدِّيه.

في هذه التجارب، التي أجريناها في مستشفى سان رافائيل بميلان، استخدمنا **التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني** positron-emission tomography (أو PET اختصارا) لمشاهدة النشاط العصبوني في أدمغة مفحوصين من البشر أثناء قيامهم بمراقبة أفعال التقاط يجري أداؤها **بقبضات** grips يدوية مختلفة؛ ومن ثم، كتجربة شاهدة، قيامهم بالنظر إلى أشياء ساكنة. وفي هذه الحالات، أدّت رؤية أفعال يؤديها آخرون إلى تنشيط ثلاث باحات رئيسية في القشرة المخية للدماغ. ويُعرف عن إحدى هذه الباحات، وتسمى **الثلم الصدغي العلوي** superior temporal sulcus (أو STS اختصارا)، أنها تحتوي على عصبونات تستجيب لمشاهدات أجزاء الجسم المتحركة. أما الاثنتان الأُخْريان، وهما **الفصيص الجداري السفلي** inferior parietal lobule (أو IPL) و**التلفيف الأمامي السفلي** inferior frontal gyrus (أو IFG)، فإنهما تقابلان على التوالي الفصيص IPL النسناسي والقشرة المخية أمام المحركة البطنية النسناسية (بما في ذلك العصبونات F5) اللذين سجّلنا فيهما سابقا عصبونات مرآتية.

لقد أوحت هذه النتائج المشجّعة بوجود آلية مرآتية تعمل في دماغ الإنسان كذلك ولكنها لم تتكشّف تماما. فإذا كانت العصبونات المرآتية تسمح بفهم فعلٍ ما مشاهدٍ من خلال اختباره على سبيل المثال، فإننا نتساءل إلى أي مدى يشكّل الهدف النهائي لهذا الفعل أحد مكوِّنات ذلك «الفهم» أيضا.

عن قصد(*)

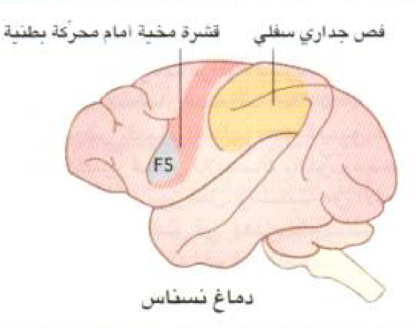
بالعودة إلى مثالنا حول <جمال> و<مريم>، فقد قلنا إن <جمال> يعرف أن <مريم> تقطف الزهرة وأنها كذلك تعتزم إعطاءها له؛ ذلك أن ابتسامتها أعطته **دالة قرينيّة** comtextual clue عن عزمها في هذا الموقف. فمعرفة <جمال> بهدف <مريم> جوهريٌّ لفهمه فعلتها، لأن إعطاءه الزهرة يشكّل تتمّة للحركات التي تؤلّف عملها هذا.

عندما نؤدي نحن أنفسنا إيماءة كهذه،

(*) On Purpose

الحقيقة منعكسة(*)

في تجاربهم على النسانيس، اكتشف مؤلفو هذه المقالة مجموعات جزئية من العصبونات في باحات محركة دماغية (في اليسار) يبدو أن تنشيطها يمثّل أفعالا بذاتها. فاضطرام firing هذه «العصبونات المرآتية» يمكنه أن يولّد لدى فرد ما استعرافا داخليا بفعل يفعله فرد آخر. واستجابة هذه العصبونات قد تعكس كذلك فهم مقصد الحركة، فقد استنتج هؤلاء المؤلفون أن فهم الفعل هو مقصد أساسي لهذه الآلية المرآتية. وقد شوهد اشتراك هذه العصبونات المرآتية في فهم المقصد النهائي للفاعل في استجابات تلك العصبونات، التي ميّزت بين أفعال قَبْض grasping actions متطابقة يجري أداؤها لمقاصد مختلفة.



فَهْم الفعل

في اختبارات مبكرة، تَنَشَّط إلى حد كبير عصبونٌ في الباحة أمام المحرّكة F5 المرتبطة بحركات الفم واليد، وذلك حينما قبض النسناس على حبة زبيب موضوعة على صفيحة (1). وقد استجاب العصبون نفسه بشدة حينما التقط المجرِّب حبة الزبيب أثناء مشاهدة النسناس له (2).

1

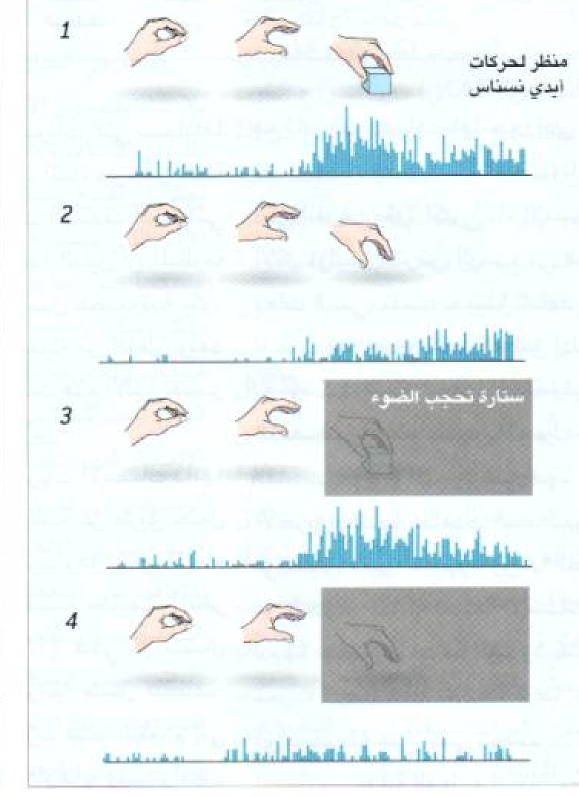
2

شدة التنشيط

استجابات عصبونات مرآتية في نسناس

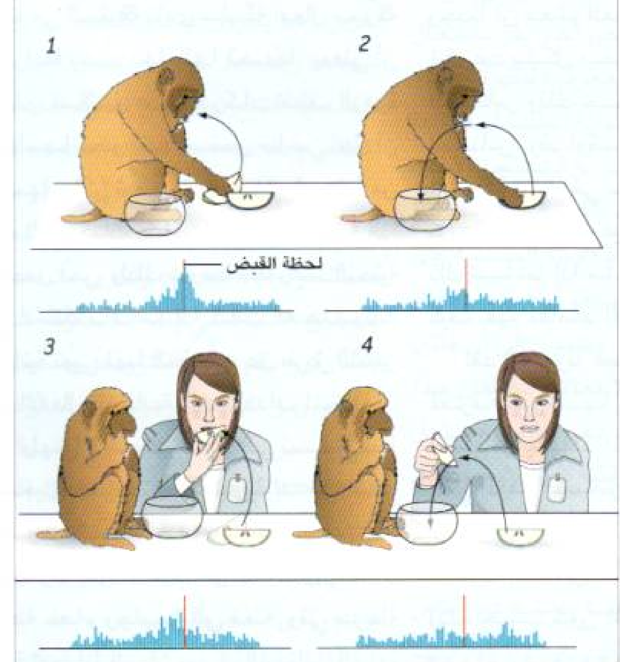
هدف تمييزي(1)

لقد اضطرم بشدة عصبون مرآتي في الباحة F5 حينما شاهد النسناس يد المجرِّب وهي تتحرك لالتقاط شيء ما (1) ولكن ليس حينما تحركت اليد من دون شيء كهدف لها (2). هذا وقد استجاب العصبون نفسه لفعل هادف (موجَّه المقصد) حين عرف أن شيئا ما كان خلف ستارة معتمة، مع أن الحيوان لم يكن يستطيع رؤية إتمام الفعل (3). وقد استجاب العصبون بشكل ضعيف حينما عرف النسناس أن لا شيء كان خلف الستارة (4).



تحديد المقصد(2)

في الفص الجداري السفلي من الدماغ تبدي القراءات المأخوذة من عصبون واحد اضطراما شديدا حين أمسك النسناس قطعة فاكهة ليضعها في فمه (1). وكانت استجابة هذا العصبون أضعف قدرا حينما أمسك النسناس تلك القطعة ليضعها في وعاء (2). وكذلك استجاب نفس العصبون المرآتي بشدة حينما شاهد النسناس يد المجرِّب تؤدي إيماءة الالتقاط من أجل الأكل (3)، في حين استجاب بشكل ضعيف لفعل الالتقاط لوضع القطعة في الوعاء (4). وفي جميع هذه الحالات، كانت الاستجابات ترافق فعل القبض، مما يشير إلى أن التنشيط الأولي للعصبون قد كوّد encoded فهما للمقصد النهائي.



discerning intension (2) discriminating goal (1) Reality Reflected (*)

مقصد القبض(*)

إن فهم مقاصد الآخرين أمر أساسي للسلوك الاجتماعي البشري. ويبدو أن عصبونات مرآتية بشرية تمنح هذه القدرة في تجربة جرى تصميمها لاختبار استعراف recognition مقاصد هذه التجربة. فقد جرى عرض كليبات (لقطات) clips ڤيديو على متطوعين (*في الأسفل يمينا*) تُصوِّر فعلين للإمساك بالكوب متماثلين من دون مضمون، ومضمونين من دون فعل، وتشكيلة من الأفعال والمضمون تشير إلى مقصد الفعل وتتمثّل في: إعداد لشرب شاي ما بعد الظهر أوحى بأن الكوب يجري مسكه لغرض الشرب، أو أن الشاي قد فرغ وأصبح الكوب معدًا لتنظيفه. لقد ازداد بشدة تنشيط مجموعات عصبونات مرآتية في باحات مخية قشرية أمام محرِّكة في كل من نصفي الكرة المخيّة لأدمغة مفحوصين (*يسارا*)، وذلك استجابة لمشاهد الفعل ذي المقصد الواضح. وكذلك ميّزت العصبونات المرآتية بين المقاصد الممكنة، بحيث استجابت بمقدار أشد للوظيفة البيولوجية الأساسية المتمثلة في الشرب منها للفعل المكتسب ثقافيا culturally acquired المتمثل في التنظيف (*في الأسفل يسارا*).

فإننا في الحقيقة نؤدي سلسلة أفعال محرِّكة مترابطة يحدِّد تسلسلها قصدنا: بمعنى أن إحدى سلاسل هذه الحركات تقطف الزهرة وتجلبها نحو أنف شخص ما من أجل أن يشمها، ولكن ثمّة مجموعة مغايرة جزئيا من هذه الحركات تقطف الزهرة وتناولها إلى شخص آخر. ولذلك شرعت مجموعتنا البحثيّة في استكشاف ما إذا كانت العصبونات المرآتية تهيئ فهما للمقصود عن طريق التمييز بين الأفعال المتشابهة ذات الأهداف المختلفة.

ولهذا الغرض عدنا إلى نسانيسنا لتسجيل عصبوناتها **الجدارية** parietal تحت شروط متباينة. ففي مجموعة من هذه التجارب كان المطلوب من النسناس إمساك قطعة طعام وجلبها إلى فمه. وفي مرحلة ثانية توصلنا إلى أن يمسك النسناس القطعة ذاتها ويضعها داخل وعاء. ومن الممتع أننا وجدنا أن معظم العصبونات التي سجلناها انفرغت بشكل مختلف أثناء جزء من فعلة النسناس وذلك حسب الهدف النهائي للنسناس. وقد أوضح هذا الدليل أن المنظومة المحرِّكة تنتظم في سلاسل عصبونية يكوِّد كل منها قصدا نوعيًا بعينه من الفعل. وبعد ذلك تساءلنا إذا ما كانت هذه الآلية تفسِّر كيف نفهم مقاصد الآخرين.

لقد اختبرنا عصبونات الإمساك ذاتها لمعرفة خواصها المرآتية عن طريق جعل النسناس يشاهد المجرِّب وهو يؤدي المهام الذي أداها النسناس نفسه سابقا. [*انظر الإطار في الصفحة 51*]. ففي كل مثال تنشّطت العصبونات المرآتية بشكل مختلف، وذلك حسب كون المجرِّب جلب الطعام إلى فمه أم أنه وضعه في الوعاء. وقد توافقت نماذج الاضطرام في دماغ النسناس تماما مع تلك التي شاهدناها حين أدى النسناس نفسه هذين الفعلين ـ فالعصبونات المرآتية التي انفرغت بقوة أكبر أثناء الإمساك لغرض الأكل (وليس لغرض الوضع في الوعاء) قد فعلت الشيء نفسه حينما شاهد النسناس المجرِّب وهو يؤدي الفعل الموافق لذلك.

وهكذا يبدو وجود صلة وثيقة بين **التعضّي** organization المحرِّك للأفعال القصدية وبين القدرة على فهم مقاصد الآخرين. عندما شاهدت النسانيس فعلةً ما في سياق معيَّن، فبمجرد رؤيتها المكوِّن الأول من الحركة الكاملة لعملية الإمساك، تنشّطت لديها عصبونات مرآتية وشكّلت سلسلة محرِّكة كوِّدت كذلك مقصدا نوعيًا. أمّا معرفة أيِّ سلسلة هي التي تنشّطت لدى رؤية النسانيس بداية الفعل فإن ذلك يعتمد على

(*) Grasping Infection

تشكيلة منوعة من العوامل، مثل طبيعة الشيء الذي يُفعَل فيه من جهة وسياق وذاكرة ما كان العنصر المشاهَد يفعله من قبل من جهة أخرى.

ولرؤية ما إذا كان ثمة آلية مشابهة لقراءة المقاصد موجودة لدى البشر، ألّفنا فريقا لإجراء تجارب تصوير رنيني (تجاوبي) مغنطيسي وظيفي (fMRI) على متطوعين. وكان يعرض على المشاركين في هذه الاختبارات ثلاث مجموعات من المنبهات تحتوي عليهما **كليبات ڤيديو** video clips. المجموعة الأولى كانت تضمّ صورا تعرض يدا تقبض على كوب وراءه خلفية فارغة. أما المجموعة الثانية فكانت تضمُّ مشهدين يحتويان على أشياء (مثل صحون وسكاكين) مرتّبة في أحدهما وكأنها جاهزة كي يستخدمها أحد ما في فترة شاي ما بعد الظهر، في حين أنها مرتّبة في المشهد الثاني وكأنها متروكة عقب أكلة سناك(1) سابقة وأصبحت جاهزة للتنظيف. وأما المجموعة المنبّهة الثالثة فكانت تعرض يدا تقبض على كوب مأخوذ من واحد من ذلك السياقين.

لقد أردنا أن نقرِّر ما إذا كانت العصبونات المرآتية البشرية تميِّز بين مسك كوب من أجل الشرب (كالكوب الذي في مشهد الجاهزية للشاي) وبين انتزاع الكوب لتنحيته جانبا من أجل التنظيف (على شاكلة الفنجان المقترح في مشهد مجموعة التنظيف). ولم تبيِّن نتائجنا أن ذلك يحصل بالفعل فحسب، بل بيَّنت كذلك أن منظومة العصبونات المرآتية استجابت بقوة **للمكون القَصْدي** intention component في الفعل. فأفراد الاختبار الذين يشاهدون الأفعال المحرِّكة لليد في مشهد «الشرب أو في مشهد التنظيف» أظهروا تنشيطا متغايرا لمنظومتي العصبونات المرآتية لديهما، وكان النشاط العصبوني المرآتي أقوى في كلا هذين الموقفين منه حينما شاهد المفحوصون اليد وهي قابضة على كوب من دون أي مشهد يَحْفُل به أو حينما يكتفون بالنظر إلى مكان هذه الأدوات فقط [*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*].

وباعتبار أن البشر والنسانيس أنواع حية اجتماعية، فإنه ليس صعبا رؤية الميزة المحتملة **للبقيا** survival وراء آلية مبنية على العصبونات المرآتية تستقطب الأفعال المحركة في شبكة محرِّكة أكبر وذات دلالة تسمح بفهم مباشر وفوري لسلوك الآخرين من دون آلية معرفية معقدة. ولكن في الحياة الاجتماعية يكون فهم **انفعالات** emotions الآخرين على الدرجة نفسها من الأهمية. وبالفعل غالبا ما يكون الانفعال **عنصرا قَرينيًا** contextual رئيسيا يعرب عن المُراد من فعل ما. وهذا هو السبب في أننا، ومجموعات بحثية أخرى، كنا نستكشف كذلك ما إذا كانت المنظومة المرآتية تسمح لنا أن نفهم ما يشعره الآخرون إلى جانب فهمنا لما يفعلون.

اربط وتعلّم(*)

وكما هي الحال مع الأفعال، فإن البشر بلا شك يفهمون الانفعالات بأكثر من طريقة: ذلك أن مشاهدة شخص آخر يمر بانفعال يمكن أن تقدح إضافة معرفية لتلك المعلومة، الأمر الذي يسبِّب في نهاية المطاف استنتاجا منطقيًا حول ما يشعر به الشخص الآخر. ولكن يمكن أن يسبِّب ذلك أيضا رسما مباشرا لخريطة تلك المعلومة الحسيَّة على البنى المحركة التي سوف تولِّد خبرة ذلك الانفعال لدى المشاهد. ونشير إلى أن هاتين الوسيلتين في تعرُّف الانفعالات تختلفان جدًا إحداهما عن الأخرى: ففي الأولى، يستدل المشاهد على الانفعال ولكنه لا يستشعره، وفي الثانية يحتلّ التعرُّف المقامَ الأول لأن الآلية المرآتية تثير الحالة الانفعالية نفسها لدى المشاهد. وهكذا، حينما يستخدم الناس التعبير «إنني أشعر بألمك» للإشارة إلى الفهم **والتعاطف** empathy كليهما، فإنهم قد لا يدركون بصورة صحيحة صدق قولهم هذا.

يمثل انفعال الاشمئزاز مثالا نموذجيًا، وهو استجابة أساسية يكون التعبير عنها ذا قيمة مهمّة للبُقيا بالنسبة إلى الأقران في **النوع الحي** species. ويشير الاشمئزاز في أكثر أشكاله بدائية إلى أن شيئا ما يتذوَّقه أو يشمّه الفرد هو سيئ، ويحتمل جدا أن يكون خطيرا. وباستخدام التصوير fMRI مجددًا، تعاونًا مع علماء أعصاب فرنسيين لإظهار أن الشعور بالاشمئزاز إثر استنشاق روائح فاسدة ومشاهدة الاشمئزاز على وجه شخص آخر ينشّطان البنية العصبية نفسها التي تحمل اسم «**الجزيرة الأمامية**» anterior insula الواقعة في بعض المواقع ذاتها داخل تلك البنية [*انظر الإطار في الصفحة 54*]. وتشير هذه النتائج إلى أن جماعات من العصبونات المرآتية في الجزيرة الأمامية تلك تصبح ناشطة حينما يستشعر المشاركون في الاختبار هذا الانفعال وكذلك حينما يرونه لدى آخرين وهم يعبِّرون عنه. وبكلمات أخرى، فإن المشاهد والمُشاهَد كليهما يتشاركان في آليّة عصبية تتيح شكلا من **الفَهْم الخِبْرويّ المباشر** direct experiential understanding.

> **حينما يستخدم الناس التعبير «إنني أشعر بألمكَ»، فإنهم قد لا يدركون بحق مدى صدق قولهم هذا.**

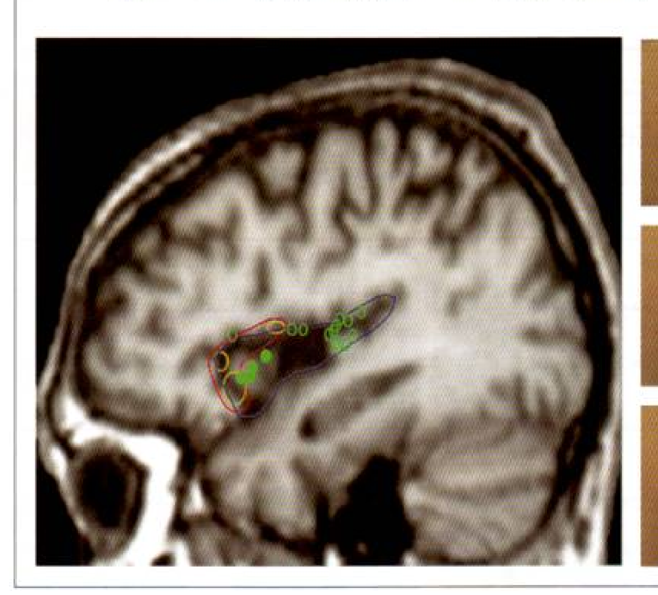
لقد وجدت <T. سنگر> [وزملاؤها في جامعة لندن] توافقات مشابهة بين انفعالات **مُسْتَشْعَرة** experienced وأخرى مُشاهدَة في سياق الألم. ففي تلك التجربة شعر المشاركون بألم تولِّده إلكترودات وُضعت على أيديهم، ومن ثم شاهدوا إلكترودات وضعت على يد شريك لهم في الاختبار يعقبها إلماع لتنبيه مؤلم. فكلا الموقفين نشّطا المناطق ذاتها من الجزيرة الأمامية **والقشرة الحزامية الأمامية** anterior cingulated cortex لدى المفحوصين.

وإذا ما أخذنا في الاعتبار هذه البيانات

(*) Connect and Learn

مرايا انفعالية[*]

لقد نشّط الشعور بالاشمئزاز أجزاء متشابهة من الدماغ حين استشعر متطوعون ذلك الانفعال أثناء قيامهم بشمّ رائحة تبعث على الاشمئزاز أو حين شاهد هؤلاء المتطوعون لقطة كليپ ڤيديو (يمينا) لشخص مُشْمَئز آخر. وفي هذا المقطع العرضي للدماغ، تنشّطت مجموعات عصبونية عن طريق تقمُّص الاشمئزاز، وهي تتحدد هنا باللون الأحمر، في حين يطوّق اللون الأصفر المجموعات العصبونية التي تنشّطت برؤية الاشمئزاز (من دون تقمُّصه). [أما اللون الأزرق فإنه يحدّد منطقة الدراسة، في حين يشير اللون الأخضر إلى مناطق سبقت دراستها]. إن هذه المجموعات العصبونية المتراكبة يمكن أن تمثّل آليّة عصبية فيزيائية لتعاطف بشري يسمح بفهم انفعالات الآخرين.



جميعها، فإنها توحي بقوة بأن البشر يمكن أن يُلِمّوا بالانفعالات، أو على الأقل، بالانفعالات السلبية القوية، وذلك عبر آلية تحديد مباشرة تتضمّن أجزاء من الدماغ تولِّد استجابات محرِّكة **حشوية** visceral.

وبالطبع، لا تستطيع مثل هذه الآلية المرآتية لفهم الانفعالات أن تفسِّر بشكل تام الاستعراف الاجتماعي[1] جميعه، ولكنها للمرة الأولى تهيئ فعلا أساسا عصبيًّا وظيفيًّا لبعض من العلاقات بين الأشخاص تُبنى عليها سلوكيّات اجتماعية أكثر تعقيدا. إنها يمكن أن تشكِّل **ركيزة** substrate تسمح لنا بالتعاطف مع الآخرين على سبيل المثال. ويمكن كذلك أن يتسبَّب الخلل الوظيفي في هذه المنظومة المرآتية بعيوب في التعاطف على غرار ما يشاهد لدى أطفال مصابين بالتوحُّد (الذاتوية) [انظر: «*مرايا متكسرة*» في هذا العدد].

يواصل العديد من المختبرات، ومن ضمنها مختبرنا الخاص، استكشاف هذه المسائل لأهميتها الفطريّة الموروثة ولتطبيقاتها العلاجية المحتملة. فإذا تم في الدماغ، بوساطة الخبرة على سبيل المثال، نقش جزئي **للمرصاف** template العصبي المرآتي لفعل محرك، سيكون بالإمكان من الناحية النظرية تخفيف أعطال محرِّكة، مثل تلك التي تحدث عقب **سكتة** stroke، وذلك عن طريق تدعيم وتقوية **مراصف فعل** action templates غير متضرِّرة. وفي الحقيقة، تشير الأدلة الحديثة إلى أن الآلية المرآتية تؤدي دورا في الطريقة التي نتعلَّم بها بشكل أوّلي مهارات جديدة.

ومع أن كلمة «**قرد**» ape كثيرا ما تستخدم لتدل على **التقليد** mimicry، فإن التقليد لا يشكّل خصيصا مقدرة متطورة بين الرئيسات غير البشرية. إنه نادرٌ لدى النسانيس ومحدود لدى القردة الكبيرة، بما في ذلك الشمپانزات والغوريلات. وعلى النقيض من ذلك، فإننا نجده (أي التقليد) وسيلة مهمة لدى البشر نستطيع عبره تعلّم المهارات واللغة واكتساب الثقافة ونقلها إلى الآخرين. فهل يتأسّس تقدُّمنا هذا فوق أقربائنا من الرئيسات على هذه الركيزة العصبية للمنظومة العصبونية المرآتية؟ لقد قدَّم <إيكوبوني> ومجموعته أول دليل على أن ذلك يمكن أن يكون هو الحال حينما استخدموا التصوير fMRI لدراسة مفحوصين من البشر كانوا يشاهدون ويقلِّدون حركات إصبع. فكلتا الحالتين (المشاهدة والتقليد) قاما بقدْح الـ IFG، التي تشكِّل جزءا من المنظومة العصبونية المرآتية، ولاسيما حين اتصفت الحركة بهدف محدّد.

ولكن في جميع هذه التجارب كانت الحركات التي يراد تقليدها حركات بسيطة وكثيرة الشيوع. وهنا نتساءَل: أي دور يمكن أن تؤديه العصبونات المرآتية حين يكون علينا أن نتعلَّم أفعالا جديدة تماما ومعقّدة عن طريق التقليد؟ لقد استخدم <G. كوكيتو> [ومعاونوه في جامعتنا بألمانيا] للإجابة عن هذا السؤال مؤخرا التقنية fMRI في دراسة مشتركين يقلِّدون حركات أوتار كيتار بعد رؤيتهم عازفا يضرب على هذه الأوتار. لقد تنشّطت المنظومات العصبونية المرآتية الجَبْهيّة الجدارية لدى المفحوصين في هذا الاختبار أثناء مشاهدتهم ذلك العازف وهو يعزف. والجدير بالذكر أن المنطقة ذاتها تنشّطت بقوة أكبر أثناء تقليد المفحوصين لحركات الأوتار. ومما يلفت النظر ظهور النشاط في منطقة دماغية إضافية أثناء الفترة التي تلي المشاهدة حين يبرمج المشتركون تقليدهم الخاص لحركات أوتار الكيتار. وتعرف هذه المنطقة باسم الباحة 46 **أمام الجبهية** prefrontal، ومن المعهود أنها ترافق **التخطيط المحرّك** motor planning والذاكرة العاملة، ويمكن لذلك أن يؤدي دورا مركزيًّا في التجميع الناجح للأفعال المحرِّكة الأوّلية التي تؤلِّف الفعل الذي يوشك المفحوص أن يقلِّده.

ثمّة العديد من النواحي طالما أربكت علماء الأعصاب، ومن بينها المسألة الأساسية حول الكيفيّة التي يتلقّى بها دماغ الفرد المعلومات الإبصارية ويترجمها

(*) Emotional Mirrors

(1) social cognition



يتطلب التقليد استنساخ الأفعال التي يقوم بها شخص آخر. فإذا كانت العصبونات المرآتية هي الأساس الذي تقوم عليه السهولة البشرية الفريدة للتقليد، فإن المنظومة المرآتية قد تقوم بدور جسر يسمح لنا بتعلُّم مهارات جديدة.

من أجل استنساخها في تعبيرات محركة. فإذا كانت المنظومة العصبونية المرآتية تَصْلُح كجسر في هذه العملية، فإنها إضافة إلى قيامها بتوفير فهم لأفعال الناس ومقاصدهم وانفعالاتهم، ربما تكون قد تطوّرت لتصبح مكوِّنا مهمًا في مقدرة الإنسان على تعلُّم مهارات معرفيّة معقّدة مبنية على المشاهدة.

ولا يعرف العلماء حتى الآن ما إذا كانت المنظومة العصبونية المرآتية تقتصر على الرئيسات أو أنها موجودة أيضا لدى حيوانات أخرى. وتقوم مجموعتنا البحثية حاليًا باختبارات على الجرذان لرؤية ما إذا كان هذا الحيوان يبدي أيضا استجابات عصبونية مرآتية. وقد تكون مثل هذه المرآتية الداخلية خاصية نشأت لاحقا في التطوّر، الأمر الذي يمكن أن يفسِّر سبب كونها أكثر شمولا لدى البشر منها لدى النسانيس. ولكن لما كان الإنسان الوليد وكذلك صغار النسانيس، يستطيعون تقليد إيماءات بسيطة مثل مدّ اللسان، فإن المقدرة على تكوين طبعات مرآتية للأفعال المشاهدة قد تكون خاصيّة فطرية. ونظرا لكون الافتقار للمرآتية **الانفعالية** emotional mirroring سمة مميزة لعلّة التوحُّد (الذاتوية)، فإننا نعمل حاليا على أطفال توحديين لمعرفة ما إذا كانت لديهم نقائص محرّكة ملموسة يمكن أن تكون علامة على خلل وظيفي عام في المنظومة العصبونية المرآتية.

لقد مضى فقط عقد واحد من السنين على اكتشافاتنا الأولى حول العصبونات المرآتية، وأمامنا العديد من الأسئلة بحاجة إلى أجوبة، بما في ذلك الدور الممكن للمنظومة المرآتية في موضوع اللغة التي تُعدُّ واحدة من أكثر المهارات المعرفية تعقيدا في الحياة البشرية. فالمنظومة العصبونية المرآتية البشرية تضم **باحة بروكا** Broca's area التي هي مركزٌ مخيٌّ قشريٌّ يتعلق باللغة. فإذا كان التخاطب البشري، حسبما يعتقد بعض علماء اللغة، قد بدأ أولا بإيماءات وجهية ويدوية، فإن العصبونات المرآتية عندئذ ربما تكون قد أدت دورا مهمًا في نشوء اللغة. وفي الحقيقة، تقدِّم هذه الآلية المرآتية حلاً لمشكلتين جوهريتين في التخاطب العقلي: وهما **التعادل** parity والفهم المباشر. فالتعادل يستلزم أن المعنى ضمن الرسالة هو نفسه لدى المرسل ولدى المتلقِّي على السواء. والفهم المباشر يعني عدم ضرورة وجود اتفاق مسبق بين الأفراد (على رموز لا على التعيين على سبيل المثال) من أجل أن يفهم أحدهم الآخر، إذ إن **الوفاق** accord هو عنصر موروث في التنظيم (التعضّي) العصبي لدى كلا الشخصين. وهكذا يمكن أن يكون ما سمح لـ<جمال> و<مريم> الاتصال فيما بينهما من دون كلمات، وما يسمح لأفراد البشر عموما بالتخاطب في عدة مستويات، هو المرايا الداخلية التي أشرنا إليها. ■

المؤلفون

Giacomo Rizzolatti - Leonardo Fogassi - vittorio Gallese

يعملون معا في جامعة بارما بإيطاليا، حيث يشغل <ريزولاتي> منصب رئيس قسم العلوم العصبية. و<فوكاسي> و<كاليسي> هما أستاذان مشاركان في هذا القسم. وقد كشفت دراساتهم في أوائل تسعينات القرن الماضي للمنظومات المحرّكة في أدمغة النسانيس والبشر وجود عصبونات ذات خواص مرآتية. ومنذ ذلك الوقت واصلوا تحرّي تلك العصبونات المرآتية لدى البشر والنسانيس، كما تحرّوا دور المنظومة المحرّكة في ***المعرفية*** *cognitive العامة. وكثيرا ما تعاونوا مع مجموعات بحثية أخرى في أوروبا والولايات المتحدة تدرس حاليا* ***وسْعة*** *breadth ووظائف المنظومة العصبونية المرآتية لدى البشر والحيوانات.*

مراجع للاستزادة

Action Recognition in the Premotor Cortex. Vittorio Gallese, Luciano Fadiga, Leonardo Fogassi and Giacomo Rizzolatti in *Brain*, Vol. 119, No. 2, pages 593–609; April 1996.

A Unifying View of the Basis of Social Cognition. V. Gallese, C. Keysers and G. Rizzolatti in *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 8, pages 396–403; 2004.

Grasping the Intentions of Others with One's Own Mirror Neuron System. Marco Iacoboni et al. in *PLoS Biology*, Vol. 3, Issue 3, pages 529–535; March 2005.

Parietal Lobe: From Action Organization to Intention Understanding. Leonardo Fogassi et al. in *Science*, Vol. 302, pages 662–667; April 29, 2005.

Scientific American, November 2006

مرايا متكسِّرة: نظرية في التوحد (الذاتوية)(*)

يمكن لدراسات منظومة العصبونات المرآتية(1) أن تقدم دالات على أسباب التوحد، وأن تساعد الباحثين على تطوير طرق جديدة لتشخيص هذا الاضطراب ومعالجته.

<V. S. راماشاندران> ـ <L. M. أوبرمان>

للوهلة الأولى قد لا تلاحظ أي أمر غريب حين لقائك صبيا صغيرا مصابا بالتوحّد (الذاتوية). ولكن إذا حاولت محادثته، سرعان ما يتضح لك أن لديه مشكلة خطيرة حقا. فقد لا يتواصل معك بالنظر؛ بل يتحاشى نظرتك المحدقة مُظهرا بعصبية تململه، أو يهز جسمه إلى الأمام والخلف، أو يضرب رأسه بالحائط. ومما يثير القلق والحيرة أنه لا يبدي أية قدرة على مواصلة ما يمكن أن يشبه ـ ولو من بعيد ـ المحادثة السوية. وعلى الرغم من معاناته انفعالات الخوف والغضب والسرور وغيرها، فقد يعوزه **تفهم أحاسيس الآخرين** (**التشاعر**) empathy، ويبدو غير واع للتلميحات الاجتماعية المصقولة التي يفهمها بلا عناء معظم الأطفال.

وفي أربعينات القرن العشرين اكتشف <L. كانر> [طبيب الأمراض النفسية الأمريكي] و<H. أسبرجر> [طبيب الأطفال النمسوي] ـ كل منهما على انفراد ـ اضطراب النمو هذا الذي يصيب نحو 0.5 في المئة من الأطفال الأمريكيين. ولم يكن لدى أي من هذين الطبيبين علم بعمل الآخر. ومع ذلك، حدثت مصادفة غريبة، إذ سمى كل منهما هذه المتلازمة بالاسم نفسه وهو: **التوحد (الذاتوية)** autism، المشتق من الكلمة اليونانية autos وتعني «**الذات**» self. وهذا الاسم مناسب جدا، لأن السِّمة الأشد وضوحا في هذا الاضطراب هي الابتعاد عن التفاعل الاجتماعي. ومنذ عهد غير بعيد تبنى الأطباء مصطلح «اضطراب طيف التوحد»(2) ليوضحوا أن هذا المرض مرتبط **بمتغايرات** variants عديدة متفاوتة في شدتها، غير أنها تشترك في بعض الأعراض المميزة.

ومنذ أن تم استعراف(3) التوحد، بدأ الباحثون بالعمل جاهدين لتحديد أسبابه. ويعرف العلماء أن الاستعداد للتوحد موروث، مع أن عوامل الخطورة البيئية تبدو ذات دور أيضا. [انظر: «*الأصول المبكرة للذاتوية*»، **العلوم**، العددان 6/5 (2000)، ص 12]. وابتداء من أواخر تسعينات القرن العشرين شرع الباحثون في مختبرنا بجامعة كاليفورنيا في العمل على استكشاف ما إذا كان ثمة ترابط بين التوحد وبين صنف من الخلايا العصبية في الدماغ تدعى **العصبونات المرآتية** mirror neurons. فقد ظهر أن لهذه العصبونات علاقة بقدرات عدة، منها تفهم أحاسيس الآخرين وإدراك مقاصدهم. ولذا بدا من المنطقي افتراض وجود **خلل وظيفي** dysfunction في منظومة العصبونات المرآتية ربما نجمت عنه بعض أعراض التوحد. وأسهمت دراسات عديدة في البرهان على هذه النظرية على امتداد العقد الماضي. وقد تفسِّر الاستقصاءات اللاحقة للعصبونات المرآتية كيف ينشأ التوحد؛ كما قد يتوصل الأطباء في الوقت ذاته إلى طرائق أفضل لتشخيص هذا الاضطراب ومعالجته بنجاح.

تفسير الأعراض(***)

على الرغم من أن العلامات التشخيصية الأساسية للتوحد هي الانعزال الاجتماعي وانعدام التواصل بالنظر وضعف القدرة اللغوية وفقدان إدراك أحاسيس الآخرين، هناك أعراض أخرى معروفة بدرجة أقل ولكنها واضحة بصفة عامة. فالعديد من التوحديين يعانون مشكلات في فهم **التعابير المجازية** metaphors ويفسرونها حرفيا أحيانا، كما يلاقون صعوبات في تقليد أفعال الآخرين. وغالبا ما يظهرون استغراقا شاذا في أمور تافهة ويتجاهلون مظاهر مهمة في بيئتهم، وخاصة محيطهم الاجتماعي. ومن الأمور المحيرة كذلك ما هو مألوف من

نظرة إجمالية/ العصبونات المرآتية والتوحد (الذاتوية)(**)

- نظرا إلى ما يبدو من تدخل العصبونات المرآتية في التآثر الاجتماعي، فإن خلل وظائف منظومة العصبونات قد يفسر بعض الأعراض الأولية للتوحد، بما فيها الانعزال وفقدان إدراك أحاسيس الآخرين.
- تظهر الدراسات على الأفراد التوحديين فقدانا في نشاط العصبونات المرآتية في مناطق متعددة من الدماغ. ويأمل الباحثون أن تتمكن المعالجات المصممة لاستعادة هذا النشاط من تلطيف بعض أعراض التوحد.
- يمكن لفرضية متممة complementary، نظرية المنظر العام البارز، أن تعلل الأعراض الثانوية للتوحد، كفرط التحسس مثلا.

(*) BROKEN MIRRORS: A THEORY OF AUTISM
(**) Overview/ Mirror Neurons and Autism
(***) Explaining the Symptoms
(1) mirror neuron system
(2) autism spectrum disorder
(3) identification



قد يجابه الأطفال التوحديون صراعا في التأثر الاجتماعي لأن منظومة العصبونات المرآتية لديهم لا تؤدي وظيفتها على النحو السليم.

إبدائهم كرها شديدا جدا لبعض الأصوات التي تقرع ـ لسبب غير واضح ـ أجراس الخطر في عقولهم.

ومن الممكن تقسيم النظريات التي طُرحت لشرح التوحد إلى مجموعتين: تشريحية ونفسية. (وقد استبعد الباحثون مجموعة ثالثة من النظريات ـ كنظرية «الأم الثلاجة»[1] التي تضع اللوم في هذا الاضطراب على سوء التربية). وبصورة أنيقة بيَّن <E. كورشيسن> [من جامعة كاليفورنيا في سان دييگو] وغيره من **المشرِّحين** anatomists، أن لدى الأطفال التوحديين شذوذات وصفية في **المخيخ** cerebellum، وهو البنيان الدماغي المسؤول عن تنسيق الحركات المعقدة للعضلات الإرادية. ومع وجوب أخذ هذه الملاحظات في الاعتبار في أي تفسير نهائي للتوحد، فمازال من المبكر استنتاج أن تأذي المخيخ هو السبب الوحيد لهذا الاضطراب. ومن المألوف أن يؤدي تأذي المخيخ الناجم عن **سكتة** stroke عند الطفل إلى **رُعاش** tremors، وترنُّح في المشية، وحركات عينية غير سوية ـ وهي أعراض تندر مشاهدتها في حالات التوحد. وعلى النقيض من ذلك، لا تُرى أية أعراض نمطية للتوحد بين المصابين بمرض في المخيخ. ومن المحتمل أن تكون التغيرات المخيخية الملاحظة في الأطفال التوحديين آثارا جانبية غير مترابطة لجينات شاذة تؤلف تأثيراتها الأخرى الأسباب الحقيقية للتوحد.

(1) refrigerator mother

ولربما كانت أبدع النظريات النفسية هي تلك التي طرحتها <U. فريث> [من المعهد الجامعي في لندن] و<S. بارون-كوهن> [من جامعة كمبردج] ويفترضان فيها أن الشذوذ الأساسي في التوحد كامن في **عجز** deficit في القدرة على إنشاء نظرية عقول أخرى[1]. ويرى هذان الباحثان أن الدارات العصبية المتخصصة في الدماغ تسمح بتكوين فرضيات معقدة لما يجري داخل عقول الآخرين من الناس. وتتيح هذه الفرضيات بدورها فرصة لطرح تنبؤات مفيدة عن سلوك أولئك الناس. ومن الواضح أن هذين الباحثين سائران على الطريق الصحيح، إلا أن نظريتهما لا تقدم تفسيرا كاملا لمجموعة أعراض للتوحد تبدو غير مترابطة. وفي الواقع، إن القول إن التوحديين غير قادرين على التآثر الاجتماعي لافتقارهم إلى «نظرية عقول أخرى»، قول لا يمكنه أن يتجاوز كثيرا حدود ذكر الأعراض. فما يحتاج الباحثون إلى استعرافه هو آليات الدماغ التي **تقابل** match وظائفُها المعروفة تلك الوظائفَ التي تتعطل في حالات التوحد.

يبدو أن العصبونات المرآتية تؤدي بدقة الوظائف نفسها التي تتعطل في التوحد.

وتأتي إحدى الدالاّت من أبحاث <G. ريزولاتي> وزملائه [في جامعة پارما بإيطاليا]، التي تناولت في تسعينات القرن العشرين النشاط العصبي في أدمغة **قرود المكاك** macaque في حين كانت تلك الحيوانات تؤدي أفعالا موجهة الهدف [انظر: «*مرايا في العقل*»، في هذا العدد]. ويعرف الباحثون منذ عقود أن عصبونات معينة في **قشرة الدماغ أمام الحركية** premotor cortex - وهي جزء من الفص الجبهي للدماغ - تتدخل في توجيه الحركات الإرادية. وعلى سبيل المثال، يتفعَّل[2] أحد العصبونات حينما يحاول القرد الوصول إلى حبة فستق، كما يتفعَّل عصبون آخر حينما يُشغِّل القرد أداة، وهكذا. وغالبا ما يشار إلى هذه الخلايا الدماغية على أنها عصبونات الأوامر الحركية. (يجب ألا ننسى أن العصبون الذي جرى تسجيل نشاطه لا يتحكم وحده في حركة الذراع؛ بل إنه جزء من دارة يمكن مراقبتها بملاحظة الإشارات في العصبونات الأساسية).

إن ما أدهش <ريزولاتي> وزملاءه هو أن مجموعة جزئية من عصبونات التحكم الحركي تفعَّلت أيضا حينما شاهد القرد قردا آخر يؤدي العمل ذاته، أو لدى رؤية الباحث يؤديه. فمثلا، تفعَّل عند القرد عصبون ذو علاقة في التحكم في فعل الوصول إلى حبة فستق حينما شاهد أحد أقرانه يؤدي الحركة ذاتها. وأظهرت تقنيات تصوير الدماغ فيما بعد أن العصبونات المرآتية موجودة أيضا في مناطق مماثلة من قشرة المخ في البشر. وتضمنت هذه الملاحظات أن العصبونات المرآتية - أو، بدقة أكبر، الشبكات التي تؤلف تلك العصبونات جزءا منها - لا تقف عند إرسال أوامر حركية فحسب، بل تحدد أيضا أهداف الأفراد الآخرين عن طريق محاكاة أفعالهم عقليا. وقد يكون دور العصبونات في القرود محدودا بالتنبؤ بأفعال موجهة نحو أهداف بسيطة. أما في البشر، فربما طورت منظومة العصبونات المرآتية القدرة على تفسير غايات أكثر تعقيدا.

وأظهرت أبحاث لاحقة أن العصبونات المرآتية موجودة في أقسام أخرى من الدماغ البشري، **كالحزام** cingulate **والقشرات الجزيرية** insular cortices، وأن بوسعها أداء دور في الاستجابات الانفعالية المتسمة بإدراك أحاسيس الآخرين. ووجد الباحثون أثناء دراستهم الباحة الحزامية الأمامية لدى المفحوصين اليقظين أن عصبونات معيَّنة تتفعَّل نمطيا استجابة للألم، قد تفعَّلت أيضا حينما رأى الشخص شخصا آخر يتألم. ويمكن أن تتدخل العصبونات المرآتية كذلك في عملية **التقليد** imitation: وهي قدرة يظهر أنها موجودة على نحو بدائي لدى **القرود العليا** great apes، إلا أنها أشد وضوحا لدى البشر. ولا بد من أن النزوع إلى التقليد فطري على أقل تقدير؛ إذ بيَّن <A. ملتزوف> [من جامعة واشنطن] أنك إذا مددت لسانك أمام طفل حديث الولادة، فسيقوم الصغير بالفعل ذاته. ولما كان الطفل لا يستطيع رؤية لسانه، فهو يعجز عن الاعتماد على **الارتجاع**[3] **البصري** visual feedback وتصحيح الخطأ ليتعلم هذه المهارة. وعوضا عن ذلك، لا بد من توافر آلية فطرية في دماغ الطفل كي يطابق خريطة المظهر البصري لأمه - أكان ذلك مدَّ اللسان أو ابتسامة - على عصبونات إصدار الأوامر الحركية.

كما يتطلب تطور اللغة في الطفولة إعادة توضيع للخرائط بين **باحات الدماغ** brain areas. فلكي يقلد الطفل كلمات الأم أو الأب يتعين على دماغه تحويل الإشارات السمعية في مراكز السمع في فصوص الدماغ الصدغية إلى مُخرَجات لفظية من القشرة الحركية. ومع أن تدخل العصبونات المرآتية المباشر في هذه المهارة أمر غير معروف، فمن الواضح أن سيرورة مشابهة لا بد وأن تكون متواصلة. وأخيرا، قد تمكن العصبوناتُ المرآتية البشر من أن يروا أنفسهم كما يراهم الآخرون، وهي مقدرة ربما كانت أساسية لوعي الذات **والاستبطان**[4] introspection.

كبت الموجات Mu(*)

ما علاقة هذا كله بالتوحد؟ لقد أشار فريقنا من جامعة كاليفورنيا في سان دييگو في أواخر تسعينات القرن العشرين إلى ما يظهر من أن العصبونات المرآتية تؤدي بدقة الوظائف ذاتها التي يبدو أنها تتعطل في التوحد. فإن كانت منظومة العصبونات المرآتية تتدخل فعلا في ترجمة المقاصد المعقدة، إذًا إن انهيار هذه الدارة العصبية يمكنه أن يفسِّر أكثر مظاهر العجز عند التوحديين إثارة للانتباه، ألا هو فقدانهم المهارات الاجتماعية. كما أن العلامات

(*) Suppressing Mu Waves
(1) theory of other minds
(2) fire: يطلق شحنة، يضطرم.
(3) feedback: أو تغذية مرتدة أو تلقيم راجع.
(4) أو التأمل الباطني. (التحرير)

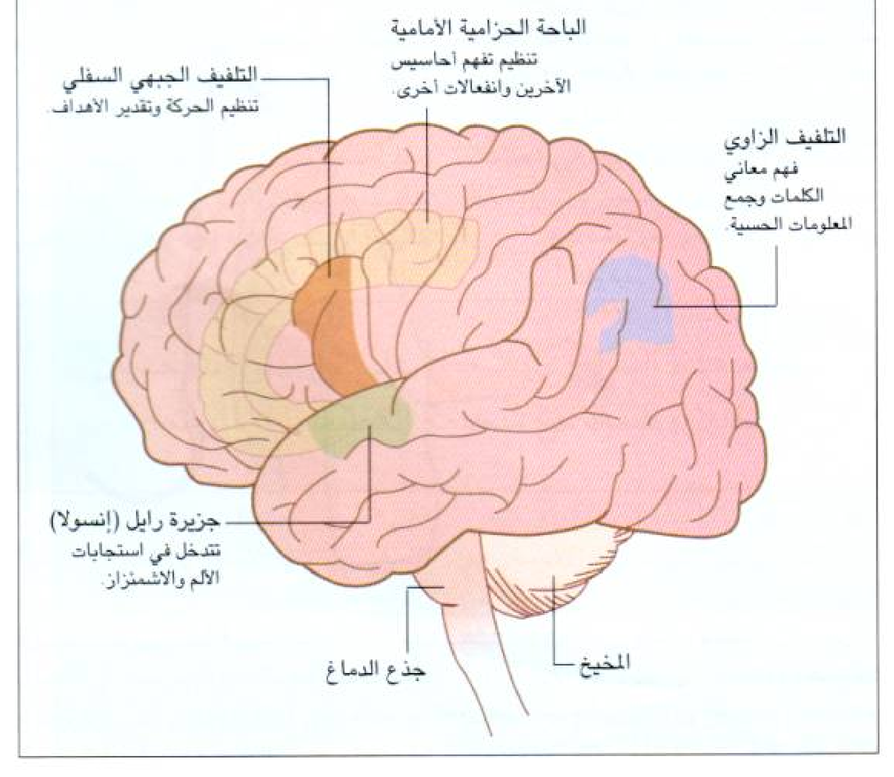
الأساسية الأخرى للتوحد ـ أي انعدام تفهم أحاسيس الآخرين والعجز اللغوي وضعف التقليد، وما إلى ذلك ـ أمور يمكن توقع رؤيتها في حال إصابة العصبونات المرآتية بخلل وظيفي. وقد جاء هذا الاقتراح من قبل فريق <A. ويتن> متزامنا تقريبا مع اقتراحنا. غير أن أول برهان تجريبي على هذه الفرضية صدر عن مختبرنا أثناء العمل المشترك مع <E. L. ألتشولر> و <J. A. پينيدا> [من جامعة كاليفورنيا في سان دييگو].

ولإقامة الدليل على وجود خلل في منظومة العصبونات المرآتية عند الأطفال التوحديين، برزت حاجتنا إلى إيجاد طريقة لمراقبة نشاط خلاياهم العصبية من دون وضع **مسار**[1] **كهربائية** electrodes في أدمغتهم (وهذا ما فعله <ريزولاتي> وزملاؤه مع القرود). وتأكدنا أن بوسعنا فعل ذلك بالاعتماد على مخطط كهربائية الدماغ (EEG)[2] وقياس موجات أدمغة الأطفال. ومنذ ما يزيد على نصف قرن، عرف العلماء أن أحد مكوّنات مخطط كهربائية الدماغ المسمى الموجة mu يتعرض لإحصار[3] في أي وقت يقوم فيه الشخص بحركة عضلية إرادية، كبسط اليد أو إطباقها. ومما يستأثر بالاهتمام هو أن هذا المكوّن يتعرض للإحصار أيضا حينما يراقب الإنسان شخصا آخر يؤدي الفعل ذاته. فاقترح أحدنا (راما شاندران) ومعه <ألتشولر> أن كبت الموجة mu يمكنه أن يشكّل **مسبارا** probe بسيطا غير باضع[4] لمراقبة نشاط العصبونات المرآتية.

وقد قررنا أن نركّز تجاربنا الأولى على طفل توحدي لا يعاني أوجه ضعف **معرفية** cognitive حادة. وذلك لأننا أردنا أن نؤكد أن جميع الفروق التي وجدناها لم تكن ناجمة عن مشكلات في الانتباه، أو في فهم التعليمات، كما لم تكن تأثيرات عامة لتخلف عقلي. وقد أظهر مخطط كهربائية الدماغ (EEG) أن الموجة mu لدى الطفل كانت قابلة للملاحظة، وأنها كُبِتت حينما أدى الطفل حركة إرادية بسيطة؛ الأمر الذي يحدث تماما لدى الأطفال الأسوياء. غير أن الكبت لم يحصل حينما راقب الطفل شخصا آخر يؤدي الفعل ذاته، وهذا جعلنا نستنتج أن جهاز التحكم الحركي عند الطفل كان

تشريح التوحد(*)

يظهر عند التوحديين نقص في نشاط العصبونات المرآتية في التلفيف الجبهي السفلي، وهو قسم من قشرة الدماغ أمام الحركية؛ وقد يفسر هذا عجز تلك العصبونات عن تقدير أهداف الآخرين. ويمكن أن تفضي أشكال الخلل الوظيفي في العصبونات المرآتية في **جزيرة رايل** insula وفي الباحة الحزامية الأمامية إلى أعراض، منها: غياب تفهم أحاسيس الآخرين. وقد تنتج من عيوب التلفيف الزاويّ صعوبات لغوية. كما أن لدى التوحديين تغيرات بنيوية أيضا في المخيخ وفي جذع الدماغ.



سليما؛ بيد أن منظومة العصبونات المرآتية كانت **معوزة**[5] deficient. وعرضنا هذه الملاحظة التي قدمت دعما هائلا لفرضيتنا، في الاجتماع السنوي لجمعية العلوم العصبية عام 2000.

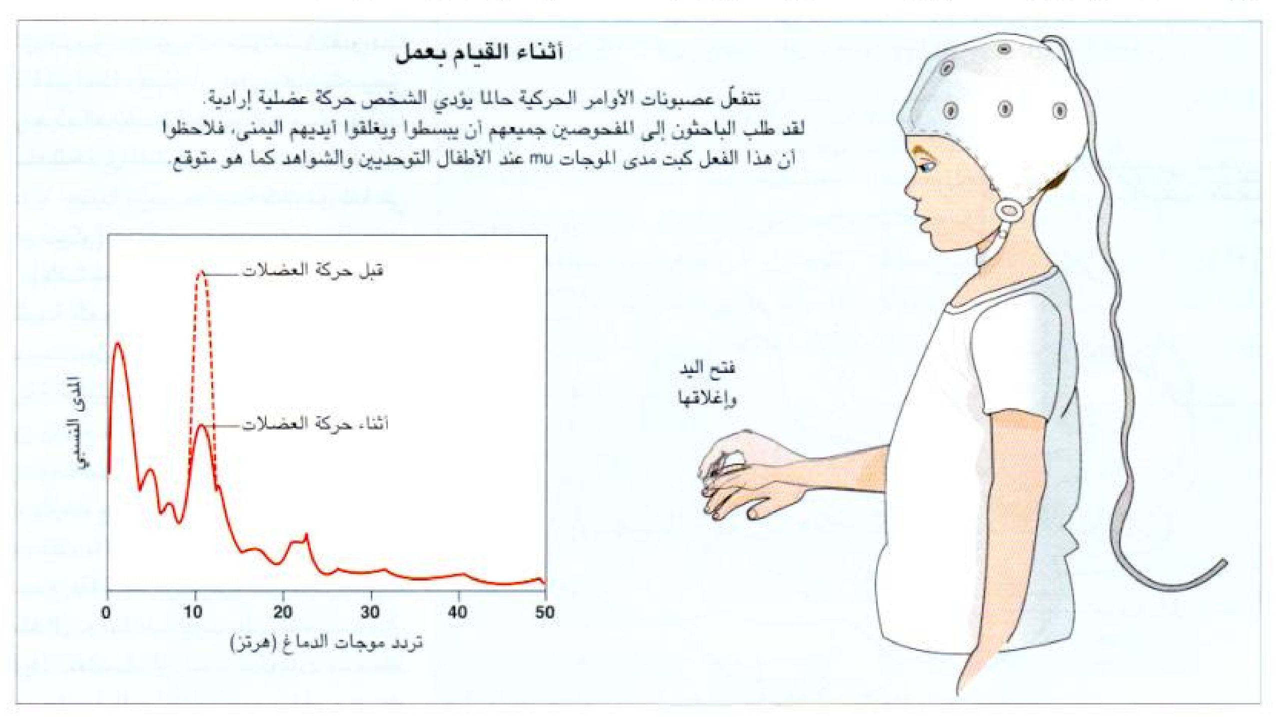
ومع ذلك، يجب الحذر من التعميم انطلاقا من حالة مفردة. ولهذا أجرى فريق مختبرنا سلسلة من التجارب المنهجية على 10 أفراد يعانون اضطراب الطيف التوحدي ولا يعانون أوجه ضعف معرفية؛ كما خضع للتجارب 10 أفراد **شواهد** control من العمر والجنس نفسيهما. ورأينا ما توقعناه من كبت الموجات mu حينما حرك المفحوصون الشواهد أيديهم وشاهدوا صورا ڤيديوية ليد تتحرك، بيد أن مخططات كهربائية أدمغة الأطفال التوحديين الخاضعين للدراسة لم تُظهر كبت الموجة mu إلا حين حركوا أيديهم بالذات.

لقد أكّد باحثون آخرون نتائجنا مستخدمين تقنيات مختلفة لمراقبة النشاط العصبي. ووجد فريق <R. هاري> [من جامعة هلسنكي للتقانة] نقائص[6] في العصبونات المرآتية عند الأطفال الذاتويين، واعتمدوا في ذلك على تخطيط مغنطيسية الدماغ لقياس الحقول المغنطيسية نتيجة تيارات كهربائية في الدماغ. وحديثا أكثر استخدمت <M. دابريتو>، وزملاؤها [من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس] التصوير الوظيفي بالرنين المغنطيسي[7] لإظهار النقص في نشاط العصبونات المرآتية في القشرات قبل الجبهية[8] لدى التوحديين. كما اعتمد <H. ثيوريه> والعاملون معه [من جامعة مونتريال] على التنبيه المغنطيسي **عبر**

(*) The Anatomy of Autism
(1) ج: مسرى.
(2) electroencephalogram
(3) blackage
(4) invasive
(5) أو قاصرة.
(6) deficits
(7) functional magnetic resonance imaging
(8) prefrontal cortices

تركيز على الموجات mu(*)

لدراسة منظومة العصبونات المرآتية عند التوحديين، اعتمد الباحثون على ما لاحظوه من أن تفعُّل العصبونات في القشرة أمام الحركية يكبت الموجة mu، وهي أحد المكونات في مقياس مخطط كهربائية نشاط الدماغ (EEG). [وتتفاوت مُدى الموجات mu بين 8 و 13 هرتز]. وراقب الباحثون الموجات mu عند أطفال توحديين وعند أطفال شواهد وذلك أثناء أدائهم حركات عضلية إرادية ومن ثم مشاهدتهم صورا ڤيديوية لأفعالهم ذاتها.



أثناء القيام بعمل

تتفعّل عصبونات الأوامر الحركية حالما يؤدي الشخص حركة عضلية إرادية. لقد طلب الباحثون إلى المفحوصين جميعهم أن يبسطوا ويغلقوا أيديهم اليمنى، فلاحظوا أن هذا الفعل كبت مدى الموجات mu عند الأطفال التوحديين والشواهد كما هو متوقع.

أثناء محاكاة عمل

تتفعّل أيضا العصبونات المرآتية في القشرة أمام الحركية حينما يلاحظ الشخص شخصا آخر يؤدي عملا. أخذ الباحثون مقاييس EEG لنشاط الدماغ فيما كان المفحوصون يراقبون صورا ڤيديوية ليد تفتح وتغلق. فلاحظوا أن الموجات mu هبطت عموديا [*اللون الأحمر*] عند المفحوصين الشواهد، في حين لم يُلاحظ أي كبت لدى التوحديين [*اللون الأزرق*]. وتوحي هذه النتيجة أن منظومة العصبونات المرآتية عند التوحديين قاصرة.

أطفال توحديون

أطفال شواهد

المدى النسبي

تردد موجات الدماغ (هرتز)

0 10 20 30 40 50

صورة ڤيديوية ليد تفتح وتغلق

Focusing on MU Waves (*)

القحفي transcranial ـ وهي تقنية تحرض تيارات كهربائية في قشرة المخ الحركية لتوليد حركات عضلية، وذلك من أجل دراسة نشاط العصبونات المرآتية لدى التوحديين الخاضعين للاختبار. وقد ظهرت حركات الأيدي المحرَّضة أشد وضوحا بين المفحوصين الشواهد حين رؤيتهم صورا ڤيديوية للحركات نفسها؛ بينما بدا الأثر أضعف كثيرا لدى المفحوصين التوحديين.

فإذا جُمعت هذه النتائج معا، فإنها تقدم دليلا قويا على أن لدى التوحديين منظومة عصبونات مرآتية ذات خلل وظيفي. ولا يعرف العلماء بعدُ عواملَ الخطورة الوراثية والبيئية التي يمكنها أن تمنع تطور العصبونات المرآتية أو أن تغير وظيفتها. ولكن فرق أبحاث عديدة منهمكة الآن في تتبع هذه الفرضية التي تشير إلى أعراض فريدة للتوحد. إذًا، تفسّر عيوب منظومة العصبونات المرآتية العلامات الأساسية للتوحد، وإضافة إلى ذلك يمكنها أن تعلل أيضا بعض الأعراض غير المعروفة جيدا. فعلى سبيل المثال، عرف الباحثون منذ مدة طويلة أنه غالبا ما تكون لدى الأطفال التوحديين مشكلات في فهم الأمثال والألفاظ المجازية. فحينما قلنا لأحد مفحوصينا: "Get a grip on youself"[1]، فَهِمَ الرسالة حرفيا وبدأ يمسك بجسمه ذاته. ومع أن هذه الصعوبة في فهم المصطلحات المجازية لوحظت لدى مجموعة جزئية من الأطفال التوحديين، فهي تستدعي التفسير.

يتطلب فهم التعبيرات المجازية القدرة على استخلاص مدلول عام من كيانات لا تشابُه بينها ظاهريا. وعلى سبيل المثال، لندخل في اعتبارنا تأثير اختبار بوبا/كيكي bouba/kiki، الذي اكتشفه عالم النفس الألماني الأمريكي <W. كوهلر> قبل ما يزيد على 60 عاما. ففي هذا الاختبار يعرض الباحث شكلين مرسومين على نحو غير متقن، أحدهما ذو حواف مسننة والآخر حوافه منحنيات، على مجموعة من المشاهدين ويسألهم: «أي هذين الشكلين هو بوبا وأيهما كيكي»؟ ومهما تكن لغة المجيبين، فإن 98 في المئة منهم سيختار الشكل المنحني على أنه بوبا، والشكل المسنن على أنه كيكي. وتوحي هذه النتيجة أن الدماغ البشري قادر على استخلاص خصائص تُستمد من الأشكال والأصوات ـ فمثلا، إن صفة التسنن متضمنة في كل من الرسم المستدق الرؤوس والصوت الأجش في كلمة كيكي. وقد خمّنا[2] أن هذا النمط من **المطابقة ما بين المجالات** cross-domain mapping مشابه لما يحدث في الألفاظ المجازية، ولابد أن يتضمن بالتأكيد عمل دارات عصبية تشبه دارات منظومة العصبونات المرآتية. ومما ينسجم مع هذا التخمين اكتشافنا أن الأطفال التوحديين هم سيئو الأداء في اختبار بوبا/كيكي، ويزاوجون بين الأشكال والأصوات على نحو غير صحيح.

> تقدم هذه النتائج دليلا قويا على أن لدى التوحديين خللا وظيفيا في منظومة العصبونات المرآتية.

ولكن أي جزء من دماغ الإنسان هو الذي يتدخل في هذه المهارة؟ لقد بدا من الأرجح أن **التلفيف الزاوي** angular gyrus الذي يقع عند ملتقى طرق مراكز الرؤية والسمع واللمس في الدماغ هو المرشح المحتمل، لا بسبب موقعه الاستراتيجي فحسب، بل لأن الخلايا العصبية ذات الخصائص الشبيهة بخصائص العصبونات المرآتية قد جرى استعرافها هناك. وحينما درسنا أشخاصا غير توحديين ولديهم تضرر في هذه الباحة الدماغية، وجدنا كثيرا منهم قد أخفق في اختبار بوبا/كيكي، وأن لديهم صعوبة تفوق ما يتناسب مع فهم التعبيرات المجازية، تماما كما هي الحال لدى التوحديين. وتوحي هذه النتائج أن المطابقة بين مجالات متعددة ربما تطورت أصولها لتساعد **الرئيسات** primates على المهمات الحركية المعقدة، كالتمسك بأغصان الأشجار (الذي يتطلب تمثلا سريعا للمعلومات البصرية والسمعية واللمسية)، ولكن نشأت عنه في نهاية المطاف القدرة على إيجاد التعابير المجازية. لقد سمحت العصبونات المرآتية للبشر أن يحاولوا الوصول إلى النجوم عوضا عن الوصول إلى حبات الفستق فحسب.

هل يمكن إصلاح المرايا؟(*)

يتيح اكتشاف عيوب العصبونات المرآتية لدى التوحديين فرصة إيجاد طرائق جديدة لتشخيص التوحد ومعالجته. فمثلا بوسع الأطباء استخدام فقدان كبت الموجة mu (أو ربما الإخفاق في محاكاة أم تمد لسانها) كوسيلة تشخيصية لاستعراف الأطفال التوحديين في طفولتهم المبكرة كي يُبتدأ تطبيق المعالجات السلوكية المتاحة بأسرع ما يمكن. فالتدخل في الوقت المناسب أمر حاسم؛ ويَضعف تأثير المعالجات السلوكية كثيرا إن شُرع بها بعد ظهور الأعراض الأساسية للتوحد (نمطيا، بين السنتين الثانية والرابعة من العمر).

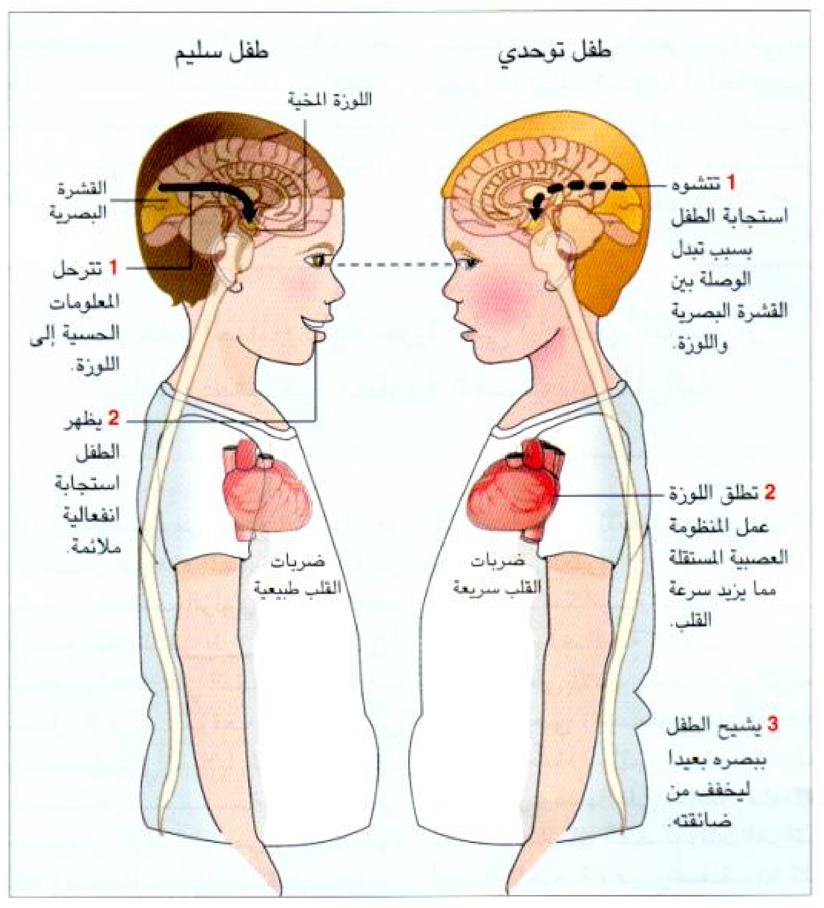
وهناك إمكانية أخرى مثيرة للاهتمام لمعالجة التوحد أو تلطيف أعراضه على الأقل، تعتمد على **الارتجاع البيولوجي (الحيوي)** biofeedback. ويمكن للأطباء مراقبة الموجات mu لطفل توحدي وعرضها على شاشة أمامه. فإن كانت وظائف العصبونات المرآتية لديه هاجعة وغير مفقودة كليا، أمكنه إنعاش هذه القدرة بتعلمه ـ عن طريق المحاولة والخطأ **والارتجاع البصري** visual feedback ـ كيف يكبت الموجات mu على الشاشة. ويتّبع زميلنا <پينيدا> هذه الطريقة، وتبدو نتائجه الأولية واعدة. ومع ذلك، يجب على هذه المعالجات أن تكمل تقنيات التدريب السلوكي التقليدية لا أن تحل محلها.

وتتوافر مقاربة علاجية جديدة أخرى تبتغي تصحيح خلل التوازن الكيميائي الذي يُضعف العصبونات المرآتية عند التوحديين. وقد أشار فريقنا إلى أن بإمكان **معدلات التنبيه العصبي الكهربي** neuromodulators المتخصصة

(*) Can the Mirrors Be Repaired?
(1) عبارة تعني مجازيا: «تماسك».
(2) conjecture

نظرية المنظر العام البارز(*)

لتفسير بعض الأعراض الثانوية للتوحد، كفرط الحساسية وتحاشي التواصل بالنظر والكره الشديد لبعض الأصوات وما إلى ذلك، طرح الباحثون نظرية «المنظر العام البارز». فعند الطفل السوي تترحّل المعلومات الحسية إلى اللوزة المخية التي تشكل بوابة المنظومة الحوفية المنظِّمة للانفعالات. وباستخدام المعلومات المختزنة تقرر اللوزة كيف يجب على الطفل أن يستجيب انفعاليا حيال كل منبه؛ وهو ما يشكل المنظر العام البارز في بيئة الطفل، ولكن ما يحدث عند الأطفال التوحديين هو أن الوصلات بين الباحات الحسية واللوزة قد تتغير؛ مما ينجم عنه استجابات انفعالية مفرطة تجاه أحداث وأشياء تافهة.



أن تعزز نشاط العصبونات المرآتية التي تتدخل في الاستجابات الانفعالية. وبحسب هذه الفرضية، قد يفسر **النفاد** الجزئي depletion لمثل هذه المواد الكيميائية ما يُشاهد عند التوحديين من نقص في إدراك أحاسيس الآخرين الانفعالية. ولذا تعين على الباحثين الكشف عن مركبات تنبه إطلاق معدلات التنبيه العصبي أو تقلد تأثيراتها في العصبونات المرآتية. وإن أحد هذه المركبات المرشحة للاستقصاء هو MDMA[(1)]، المعروف باسم «**النشوة**» ecstasy، والذي تبين أنه يعزز **القرب** closeness والتواصل الانفعاليين. وقد يتمكن الباحثون من تحوير هذا المركب لتطوير معالجة آمنة وفعالة يمكنها تلطيف بعض أعراض التوحد على الأقل.

ومع ذلك، قد لا تقدم هذه المعالجات إلا **تفريجا** relief جزئيا؛ إذ لا يمكن شرح الأعراض الأخرى للتوحد اعتمادا على نظرية العصبونات المرآتية، ومنها مثلا: الحركات التكرارية كالاهتزاز إلى الأمام والخلف، وتحاشي التواصل بالنظر، وفرط الحساسية، والكره الشديد لبعض الأصوات. وفي محاولة لتحديد كيفية إمكان نشوء هذه الأعراض الثانوية، طوّر فريق مختبرنا [بالتعاون مع <W. هرستين> [من كلية إيلمهرست] و<P. إيفرسن> [من Cure Autism Now، وهي مؤسسة غير ربحية مقرها في لوس أنجلوس] ما ندعوه **نظرية المنظر العام البارز** the salience landscape theory.

حينما ينظر شخص ما إلى العالم حوله فهو (أو هي) يواجه قدرا متدفقا من المعلومات الحسية: مناظر، أصوات، روائح، وما إلى ذلك. وبعد معالجة هذه المعلومات في باحات الدماغ الحسية، يُجرى ترحيلها إلى **اللوزة المخية** amygdala التي تعمل كمدخل **للمنظومة الحوفية** limbic system التي تنظم الانفعالات. واعتمادا على مدخول المعارف المختزنة لدى الفرد تقرر اللوزة المخية كيف يجب على الشخص أن يستجيب انفعاليا، مثلا: بالخوف (لرؤية لص) أو بالشهوة (لرؤية محب) أو باللامبالاة (لرؤية شيء تافه). وتتدفق الرسائل من اللوزة المخية إلى باقي أجزاء المنظومة الحوفية حتى تصل في نهاية المطاف إلى **المنظومة العصبية المستقلة** autonomic nervous system، التي تهيئ الجسم للعمل. فإن كان الفرد يواجه لصا على سبيل المثال، فستزداد سرعة قلبه وسيتعرق جسده ليبدد الحرارة الناجمة عن الجهد العضلي؛ ومن ثم **يرتجع** feedback تيقُّظ المنظومة العصبية المستقلة إلى الدماغ، مضخما الاستجابة الانفعالية. ومع مرور الزمن، تنشئ اللوزة المخية منظرا عاما بارزا، خريطة تبين تفصيلات الدلالة الانفعالية لكل شيء في بيئة الفرد.

وقرر فريقنا أن يتحرى إمكان وجود تشوه في المنظر العام البارز عند الأطفال التوحديين ربما نجم عن تغير في **الوصلات** connections بين الباحات القشرية المخية - التي تعالج المدخلات الحسية واللوزة، أو بين البنى الحوفية والفصوص الجبهية التي تنظّم مظاهر السلوك الناتجة. وبسبب هذه الوصلات غير السوية، يمكن لأي حادث أو أمر تافه أن يفجّر استجابة انفعالية مفرطة تطلقها المنظومة العصبية المستقلة في عقل الطفل. وربما فسرت هذه النظرية سبب ميل الأطفال التوحديين إلى تفادي

(*) The Salience Landscape Theory

(1) من مشتقات الفينيثيلامين وذو نشاط مركزي، ويتصل بالأمفيتامين والميتافيتامين، وله خصائص هلسية ومنبهة للجهاز العصبي المركزي. (التحرير)

التواصل بالنظر والابتعاد عن أي إحساس جديد آخر قد يفضي إلى ثورة عنيفة لديهم. كما قد تشرح الإدراكات المشوّهة للدلالة الانفعالية أيضا سبب الاستغراق الشديد الذي يظهره الأطفال التوحديون في أمور تافهة كمواعيد القطارات، في الوقت الذي لا يبدون فيه أي اهتمام على الإطلاق بأشياء يراها معظم الأطفال خلابة.

وقد لقينا بعض الدعم لفرضيتنا حين مراقبتنا الاستجابات المستقلة لمجموعة مؤلفة من 37 طفلا توحديا، بوساطة قياس ازدياد **الإيصالية الجلدية** skin conductace، هذا الازدياد الناجم عن التعرق. وبالمقارنة مع أطفال المجموعة، تبين وجود مستوى من التيقظ المستقل أعلى لدى الأطفال التوحديين بصفة عامة. وعلى الرغم مما بدا عليهم من اهتياج حين تعرضهم لأشياء وأحداث تافهة، فغالبا ما تجاهلوا المنبِّهات التي أطلقت استجابات متوقعة لدى أفراد المجموعة الشاهدة.

ولكن كيف يمكن للمنظر العام البارز عند الطفل أن يغدو مشوها إلى هذا الحد؟ لقد وجد الباحثون أن ما يقرب من نسبة ثلث عدد الأطفال التوحديين تعرضوا في طفولتهم **لصرع الفصِّ الصدغي (الصرع النفسي الحركي)** temporal lobe epilepsy. وربما كانت النسبة أعلى كثيرا، إذ إن نوبات صرع كثيرة تمر من دون كشف. ويمكن لهذه النوبات، التي يسببها وابل عشوائي متكرر من **الدُّفعات العصبية** nerve impulses التي تجتاز المنظومة الحوفية، أن تخلط وتربك في نهاية الأمر الوصلات بين القشرة البصرية واللوزة المخية، فتعزز بعض الوصلات وتضعضع أخرى من غير تمييز بينها. ويفضي صرع الفصِّ الصدغي لدى الكبار إلى اضطرابات انفعالية شديدة، إلا أنها لا تؤثر جذريا في **التعرّف** cognition. أما عند الأطفال فقد تؤدي هذه النوبات إلى عجز أكثر عمقا. وكما هو الأمر في التوحد، يبدو أن خطورة صرع الفص الصدغي في الطفولة تتأثر بكل من العوامل الجينية والبيئية. إن بعض الجينات مثلا، قد تجعل الطفل أكثر استعدادا للعداوى الفيروسيّة، التي يمكن بدورها أن تؤهب الطفل للنوبات.

وقد تساعد نتائجنا حول استجابات المنظومة العصبية المستقلة على شرح الملاحظة السريرية القديمة التي ترى أن ارتفاع الحرارة في الحمى يلطف أحيانا من أعراض التوحد مؤقتا. إن المنظومة العصبية المستقلة ذات دور في ضبط حرارة الجسم؛ إذ يبدو أن مسالك عصبية واحدة هي التي تنظم كلا من ارتفاع درجة الحرارة والسورات[1] الانفعالية في التوحد، وربما كان بوسع الحمى أن تلطف من هذه السورات.

وقد تتمكن نظرية المنظر العام البارز من تقديم تفسير للحركات التكرارية وضرب الرأس المشاهدة بين الأطفال التوحديين. إن هذا السلوك الذي يدعى **تنبيه الذات** self-stimulation قد يفلح في إخماد الهيجانات العصبية التلقائية بشكل ما عند الطفل. فقد وجدت دراساتنا أن تنبيه الذات لم يكن ذا تأثير مثبط فحسب، بل أدى أيضا إلى نقصان قابل للقياس في إيصالية الجلد. وتُبين هذه النتيجة احتمال إيجاد مداواة **أعراضية** symptomatic للتوحد. ويسعى ‹هرشتين› حاليا إلى تطوير أداة محمولة تستطيع أن تراقب إيصالية جلد الطفل التوحدي. فحينما تكشف هذه الأداة تيقظا في المنظومة العصبية التلقائية تُشغِّل أداة أخرى، تدعى **قميص الضغط** squeeze vest، تزود بضغط يبعث الراحة عن طريق شدِّها بلطف حول جسم الطفل.

وليست النظريتان المرشحتان لشرح أعراض التوحد، أي: خلل وظيفة العصبونات المرآتية والمنظر العام البارز المشوَّه، متناقضتين بالضرورة. فمن الممكن أن الحادثة نفسها ـ التي تشوِّه المنظر العام البارز عند الطفل عن طريق إرباك الوصلات بين المنظومة الحوفية وبقية أجزاء الدماغ ـ تخرِّب أيضا العصبونات المرآتية. وبدلا من ذلك، قد تكون الوصلات الحوفية المتبدلة أثرا جانبيا للجينات نفسها التي تسبب خللا وظيفيا في منظومة العصبونات المرآتية. ومن الضروري إجراء تجارب لاحقة لاختبار هذين التخمينين بدقة أكبر. ويبقى من الواجب اكتشاف السبب الجوهري للتوحد. وفي غضون ذلك، قد توافر تأملاتنا إطارا مفيدا لأبحاث مستقبلية. ■

إذا كانت وظائف العصبونات المرآتية هاجعة لا مفقودة، فقد يمكن إنعاش قدرتها.

(1) upheavals أو: الثورانات (ج: ثوران). (التحرير)

المؤلفان

Vilayanur S. Ramachandran - Lindsay M. Oberman

*بحثا معا الصلات بين التوحد ومنظومة العصبونات المرآتية في «مركز الدماغ والتعرف» بجامعة كاليفورنيا في سان دييگو. حصل ‹راماشاندران› [مدير المركز] على الدكتوراه في علم الأعصاب من جامعة كمبردج. واشتهر كخبير في شذوذات الدماغ، ودرس أيضا ظاهرتي **الأطراف الشبحية** phantom limbs **والحس المشترك** synesthesia. وحصل بذلك على جائزة ‹هنري ديل› لعام 2005 وزمالة المعهد الملكي البريطاني. أما ‹أوبرمان› فهو طالب دراسات عليا في مختبر ‹راماشاندران› بجامعة كاليفورنيا في سان دييگو، وانضم إلى الفريق العامل في هذا المختبر عام 2002.*

مراجع للاستزادة

Autonomic Responses of Autistic Children to People and Objects. William Hirstein, Portia Iversen and Vilayanur S. Ramachandran in *Proceedings of the Royal Society of London B*, Vol. 268, pages 1883–1888; 2001.

EEG Evidence for Mirror Neuron Dysfunction in Autism Spectrum Disorders. Lindsay M. Oberman, Edward M. Hubbard, Joseph P. McCleery, Eric L. Altschuler, Jaime A. Pineda and Vilayanur S. Ramachandran in *Cognitive Brain Research*, Vol. 24, pages 190–198; 2005.

A Brief Tour of Human Consciousness. New edition. Vilayanur S. Ramachandran. Pi Press, 2005.

Scientific American, November 2006

المنظومة لاش(*)

منظومة للمراقبة العسكرية أساسها المنطاد.

إن **مناطيد المراقبة** blimps الحالية ضخمة وترفرف كلوحات إعلانية مفرحة في المناسبات الرياضية، في حين أنها قد تقوم بدور أكثر جدية في المستقبل، مثل المراقبة الجوية.

فقد حمل مهندسو البحرية الأمريكية **سفينة هوائية** airship منظومة خاصة تسمى لاش LASH(1). وبصورة أساسية، تعمل «لاش» بوساطة كشف الألوان. فكل جسم يعكس الضوء بالصورة الخاصة به، غير المرئية بالعين المجردة. والمنظومة «لاش» التي طورتها مؤسسة «العلوم والتقانة الدولية» في هونولولو، هي في الأساس آلة تصوير ترسل الصورة الضوئية، التي عادة ما تكون في المجال تحت الأحمر أو البنفسجي، إلى حاسوب محمول على متن المنطاد. يفاضل الحاسوب بين الأطوال الموجية ويعطي خيالا يظهر صورة، في الزمن الحقيقي، ذات تغيرات ألوان محسنة. ويقول <S. هويت> [مدير تطوير منظومة السفينة الهوائية المتقدمة لمكتب أبحاث البحرية]: «إن التمويه الذي يصنعه الإنسان، على سبيل المثال، يختلف بترددين عن طيف اللون الطبيعي المحيط. ولا تستطيع عينك أبدا تمييز الفرق.»

لكن المنظومة «لاش» تستطيع ذلك. فقد استطاعت أثناء الاختبارات أن تتبع حيتانا تسبح في ممرات السفن على عمق نحو 20 مترًا تحت سطح المحيط كما اكتشفت غزو الجنادب للمحاصيل. وقال <هويت> موضحًا «إذا فُقد طفل في الغابة وكانت والدته تعلم أنه يلبس معطفا أحمر فإنك تبحث عن ذلك اللون.»

إن المناطيد المقيدة، هي الآن عناصر للمراقبة العسكرية والشرطية. لكن المناطيد التي تحلق بحرية والتي تحمل محسات عالية التقنية توافر مرونة أفضل بكثير. وقد أعطى الموظفون الفدراليون في الشهر 2002/10 الموافقة على تجهيز المنطاد بمنظومة «لاش» ومحسات أخرى للبحث عن قناصة منطقة الحزام المحيط بالعاصمة واشنطن وذلك بكشف إطلاق النار من سلاح. أما من ناحية الاستخدام العسكري، فإن المنطاد المجهز بمنظومة «لاش» يمكنه أن يراقب مناطق النزاعات المتفرقة ومحاولة معرفة الأمكنة المموهة لاختباء العدو. (ونظرا إلى كون المناطيد هدفا سهلا، فهي غير مناسبة لمراقبة مناطق القتال الساخنة كالعراق). كما يمكن للبحرية أو لحراس الشواطئ استخدام المنظومة لتقصي الشواطئ الأمريكية والبحث مثلا عن الإرهابيين أو المهربين أو عن الألغام في المرافئ.

إن ميزة المناطيد التي تجعلها مناسبة للمراقبة الجوية وبالتحديد قدرتها على البقاء مستقرة لفترة زمنية طويلة ـ سببت كذلك قلق بعض المراقبين. يقول <P. كارليت> [الذي يعمل محللا دفاعيا لدى منظمة «الأمن العالمي» في مدينة الاسكندرية في فرجينيا]: «لدي مشكلة مع العسكريين الذين ينظرون إلى فناء بيتي كل يوم. فالناس يتذمرون حول قانون المواطنة، وهم قلقون من العسكريين الذين يراقبونهم يوميا. وهذا سيغير طريقة نظرتنا إلى الحريات المدنية بشكل جذري. فأهلا بك في دولة الشرطة.» ويجيب <هويت> عن ذلك بشكل مقتضب «إننا لا نتجسس على الناس، فهذا مخالف للقانون.» ■

المؤلف
Phil Scott
يكتب عن تقانة الطيران، ويقيم في مدينة نيويورك.

أعين سفينة الفضاء: يحمل المنطاد عاليا منظومة محسات تدعى «لاش» التي اجتازت اختباراتها الجوية.

من المراقبة إلى التشخيص(**)

إن التقانة لاش LASH قد تكون مفيدة في المستشفيات(2)، إذ يمكن لآلة التصوير المزودة بهذه التقانة أن تكشف الخلايا السرطانية بملاحظة التغيرات الضوئية الدقيقة مقارنة بالنسج المحيطة. وتخضع المنظومة لاختبار الطور الثاني للاستخدام في كشف السرطان العنقي cervical؛ إذ إنها تُجرى بالفعل، وبدون ألم، تشريحا مجهريا biopsy افتراضيا وتعطي نتائج في الزمن الحقيقي، وهذا يعفي المريض من قلق الانتظار لمعرفة النتائج من طبيب التشريح المرضي pathologist. وكان صانعو المنظومة «لاش» [من مؤسسة العلوم والتقانة العالمية] يأملون تسويقها عام 2006.

حلقات نانوية لا تنسى(***)

يمكن لصنّعي الذواكر المغنطيسية تحزيم شيبات بشكل كثيف اعتمادا على تقنيات **الليثوغرافيا**(3) lithography، لكنهم سيحتاجون إلى وسيلة أخرى موثوقة ورخيصة لتشكيل بتات ذات مقياس نانوي. ووفقا لإحدى المقاربات المحتملة، فقد تمكن الباحثون من جمع جسيمات كوبالت نانوية كي تتشكل كحلقات قادرة على تخزين معلومات مغنطيسية عند درجة الحرارة العادية. فالجسيمات، التي تبدأ بالطفو في مُحلٍ ممزوج بخافض **للتوتر السطحي** surfactant يجذب بعضها بعضا مثل مغنطيس بالغ الصغر. وتتجمع وفق طيف من الأشكال، بما فيها حلقات قطرها أقل من 100 نانومتر، ويمكن التحكم في مقدار الحلقات المتشكلة بتوليف تراكيز مخفض التوتر السطحي والجسيمات. ويتطلب بناء أجهزة من الحلقات، استقرارها ميكانيكيا، ومكاملتها مع طرق التصنيع النانوية الأخرى، كما يقول الباحث الرئيسي <A. واي> [من جامعة پيردو]. ويضيف أنها قد تُجمع مثلا مع الأسلاك النانوية لتبديل الحالات المغنطيسية. وقد ظهر هذا العمل في الشهر 2003/11 في مجلة *Angewandte Chemie*. ■

<J. R. منكل>

(*) LASH OUT
(**) From Surveillance to Diagnostics
(***) MEMORABLE NANORINGS
(1) الأحرف الأولى من Littoral Airborne Sensor Hyperspectral، وتعني «المحس الجوي الساحلي المفرط الحساسية الطيفية».
(2) أو المشافي (ج. مشفى).
(3) أو الحفر الضوئي.

ذوبان عند القمة الجليدية(*)

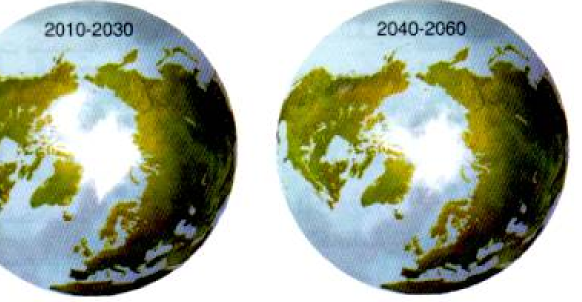
سيكون للاحترار السريع في القطب الشمالي عواقب عالمية.

يكمن تأثير الاحترار العالمي مستقبلا في القارة القطبية الشمالية. ففي العقود الأخيرة، ارتفعت درجات الحرارة هناك أسرع بمرتين تقريبا منها في بقية أنحاء العالم. وأصدر **مجلس القارة القطبية الشمالية** The Arctic Council [وهو منظمة بين الحكومات تضم ثماني دول هي: الولايات المتحدة وكندا وأيسلندا والدنمارك والنرويج والسويد وفنلندا وروسيا، إضافة إلى عدة منظمات محلية شعبية] تقريرا متزنا في الشهر 2004/11. ويقدر التقرير أنه بحلول نهاية هذا القرن سوف ترتفع درجات حرارة الشتاء الوسطية أربع إلى سبع درجات سيلزية تقريبا فوق اليابسة، ونحو سبع إلى عشر درجات سيلزية فوق المحيطات، وهذا سيؤدي إلى تغيرات عميقة في نهاية القرن.

ذوبان جليد گرينلاند ذوبان جليد آخر فوق اليابسة خلال القرون القليلة القادمة فإن هذا سوف يرفع مستوى المحيطات ثمانية أمتار مهددا بذلك مدنا رئيسية، مثل مومباي وكلكوتا ومانيلا، وماسحا جزء فلوريدا الواقع تحت ميامي. كما أن ارتفاعات أقل شأنا ستكون كارثية: هناك 17 مليون إنسان في بنگلاديش يعيشون على ارتفاع أقل من متر واحد فوق سطح البحر. أضف إلى ذلك أنه مع انكماش **الطبقة المتجمدة** permafrost في القارة القطبية الشمالية سيتحرر الكربون المحتبس هناك، وهو يعادل 14 في المئة من الإجمالي العالمي، وهذا سيزيد من **مفعول الدفيئة (الاحتباس الحراري)** greenhouse effect. وسوف يقضي احْتِرار القارة القطبية الشمالية على الدب القطبي وعلى مجتمعات







بحسب توقعات مجلس القارة القطبية الشمالية، سوف يذوي الجليد البحري في القارة القطبية الشمالية. وتُظهر الخرائط وضع الجليد البحري في الشهر 9 في ثلاث فترات زمنية مختلفة من القرن 21.

ومع أن معظم الطاقة الشمسية يصل إلى المناطق الاستوائية، فإن الجو والمحيطات تعيد توزيع الطاقة الاستوائية نحو القطبين. وبخلاف المناطق الاستوائية، حيث يذهب جزء كبير من الطاقة التي تتلقاها هذه المناطق على السطح في التبخر، فإن معظم الطاقة التي يتلقاها سطح مناطق القارة القطبية الشمالية يذهب في تسخين الجو. ويرجح أن تسخن القارة القطبية الشمالية بصورة أسرع مما هي عليه في القارة القطبية الجنوبية، وذلك لعدة أسباب معقدة، منها أن امتصاص الإشعاع الشمسي فيها أكبر.

وتعطي الخرائط المبنية على متوسطات خمسة نماذج مناخية فكرةً عن حالة الجليد البحري في القارة القطبية الشمالية في الشهر 9 لثلاث فترات زمنية بين عامي 2010 و 2090. ووفق مجلس القارة القطبية الشمالية فإن صفيحة گرينلاند الجليدية، وهي أكبر كتلة جليد فوق اليابسة في العالم، سوف تتجاوز على الأغلب خط الذوبان **اللاعكوس** irreversible خلال هذا القرن. فإذا أضيف إلى

الفقمة ويشرد السكان الأصليين.

وفي الناحية الإيجابية سيُفتح الممر الشمالي الغربي خلال عقود قليلة أمام الشحن بالسفن صيفا بصورة منتظمة، وسوف تزداد على الأغلب فرص استخراج النفط والغاز قرب الشواطئ. وبالفعل فإن 25 في المئة من نفط وغاز كوكبنا المتبقية هي في القارة القطبية الشمالية؛ إذ تحتوي هدرات الغاز الطبيعي، وهي بلورات صلبة شبيهة بالجليد محتجزة تحت الطبقة المتجمدة، نظريا على طاقة أكثر من احتياطيات النفط والغاز والفحم الحجري التقليدية مجتمعة. لكن الاستغلال الكامل لموارد القارة القطبية الشمالية لتلبية حاجات العالم من الطاقة لن يكون على الأغلب قبل انقضاء عقود كثيرة قادمة [انظر: «*جيوسياسة الطاقة*»، **العلوم**، العددان 8/7 (2005)، ص 74]. ■

R. دويل>

نقاط موجزة(**)

- **اكتشفت أقدم أحفورة جرابية marsupial، حتى الآن. عمرها 125 مليون سنة، فهي تتقدم تاريخيا بـ15 مليون سنة على شواهد أخرى حول الجرابيات وهي عبارة عن بقايا هيكل عظمي بحجم الفار، كامل كمالا غير عادي.**

Science، 2002/12/12،
www.sciam.com/news-directory.cfm

- **اكتشف الباحثون أن قطاعات ضهرات ridges وسط المحيط يتباعد بعضها عن بعض سنويا بمقدار يتراوح بين 0.8 و 0.15 بوصة (2 و 0.38 سم) مقارنة بالحركات النموذجية التي تراوح بين 2.5 و17.8 سم. ويمكن أن يغير التباعدُ المتناهي البطء التفكير حول تشكل صفائح القشرة الأرضية.**

Nature، 2003/11/27.

- **تمكن الفيزيائيون من التصوير بعدسة مستوية عند ترددات ميكروية. وهذه التقنية، المستندة إلى الانكسار السالب، يمكن أن تعطي صورا أكثر حدة من تلك الناتجة من الانحناء لعدسة مقوسة.**

Nature، 2003/11/27.

(*) العنوان الأصلي: MELTING AT THE TOP
(**) Brief Points

دَعِ الإنترنت على الحياد(*)

لو كان لِعالَم الإنترنت أن يتخذ شعارا غير رسميّ حتى الآن، لكان هذا الشعارُ الجملةَ التي علّق بها <P. شتاينر> على رسمه الكاريكاتيري الشهير: «حينما تكون على الإنترنت، لا أحد يعرف أنك كلب.» فالاتصالات الرقمية لا تخفي هوية المستخدم وحسب، بل إن البروتوكولات الأساسية التي تحكم تدفق البيانات فيها، ويرمز لها بالأحرف TCP/IP، لا مثيل لها في المساواة. فمسيِّرات حركة الاتصالات تُعامل بالتساوي رُزَم بيانات كل من يستخدم الإنترنت. وبفضل «أرض الملعب المستوية» التي ميّزت الإنترنت حتى الآن، أمكن للمبادرين الذي حققوا ابتكاراتهم انطلاقا من مرآب سيارة، أن ينافسوا بمنتجات شركاتهم الحديثة العهد الشركات الخمسمئة الأغنى في العالم، حسب تصنيف مجلة *Fortune*.

لكن في ضوء الرواج المتنامي **للڤيديو الدفقي**(1) streaming video، وخدمات أخرى مختلفة تصنّف تحت تسمية "Web 2.0"، تُجادل بعض شركات الاتصالات من أجل تغيير النموذج المكنّى «بحيادية الشبكة.» فجودة الڤيديو على الخط لا تتحمل الإعاقة في الإرسال، حتى لو كانت ضئيلة. والآن ترغب شركات من أمثال AT&T و Verizon و Comcast، التي تمتلك **الخطوط الفقريّة** backbone lines على شبكة الإنترنت، في وضع أفضليات لحركة البيانات بغية الوصول إلى تدفق أكثر اتزانا. وإذا سارت الأمور وفق ما يريدون، فإن شعار الإنترنت التالي يمكن أن يُقتبس من كتاب «*مزرعة الحيوانات*» لـ<G. أورول>: «خُلقت الحيوانات جميعا متساوية، لكن بعضها أكثر تساويا من غيره.»

تقترح شركات الاتصالات **خدمة طبقيّة** tiered service **لمزوّدي المحتوى** content providers على الشبكة. ويدفع هؤلاء المزوّدون حاليا مقابل **عرض الحزمة** bandwidth الذي يستخدمونه فقط، لكن شركات الاتصالات تريد أيضا تحميلهم تكاليف أعلى لقاء معاملة تفضيلية لبياناتهم. وتجادل هذه الشركات بأنها تحتاج إلى الاستثمار من أجل تلبية الطلب المتزايد على عرض الحزمة. والبديل الوحيد لتحميل مزوّدي المحتوى التكلفة الإضافية هو تحميل الأفراد المستهلكين تكلفة أعلى لقاء النفاذ إلى الشبكة، وهو أمر لا يرحب به أحد.

لكن هذا التوجه يستثير بعض النقاد. فالشركات التي تبرم عقودا مع شركات الاتصالات، أو الشركات التي تقدّم المحتوى للشبكة وهي أذرع لشركات الاتصالات ذاتها، يمكن أن تحصل على مزايا هائلة مقارنة بمنافسيها ــ وهذا ترتيب **مناف للجدارة** antimeritocratic يسيء إلى التنافس ويعرقل استحداث مؤسسات جديدة للأعمال. وفي أسوأ الحالات، يمكن أن تصبح بعض المواقع على الشبكة غير قابلة للاستخدام عمليا. ومن دون ريب، سوف تُحال الرسوم الإضافية ــ بطريقة أو بأخرى ــ إلى المستهلك في نهاية المطاف، على صورة تكاليف أعلى للحصول على المحتوى.

وفي المحصلة، فإن أولئك الذين يفضلون حيادية الشبكة يمتلكون الحجة الأفضل. فوجود نظام لتحديد أفضليات حركة البيانات ربما أضحى ضروريا يوما ما، إلا أنه يؤمل وضع هذا النظام بناءً على الاحتياجات التي يفرضها نقل البيانات، لا على صفقات ونزوات مُلاّك الكِبال(2). إضافة إلى ما سبق، فإن **المدونات**(3) **الشخصية** personal blogs وصفحات الوب الأخرى تتجه بصورة متزايدة لتصبح خليطا متنوّعا من مصادر مختلفة. والخدمات الطبقية يمكن أن تُخمد هذه النزعة. لذا، فإن لم يتم التوصل إلى تشارك عامٍّ في تكاليف الڤيديو، فقد يكون من العملي ومن دواعي المساواة في نهاية المطاف أن يدفع كلُّ شخص ثمن ما يستقبل من بيانات قيِّمة.



من الذي سيتحمل تكاليف الڤيديو عبر الإنترنت؟

وقد يشعر الإنسان بقدر أكبر من الاطمئنان تجاه إنهاء حياد الشبكة لو لم تتمتع شركات الاتصالات، في الكثير من الأحيان، باحتكار خدمة **الحزمة العريضة** broadband. فنصف عدد الأمريكيين تقريبا يمتلكون خيارا محدودا، أو لا يمتلكون أي خيار، إذا احتاجوا إلى وصلات عالية السرعة. وإن شح المنافسة يقلص الحوافز التي تدفع شركات الاتصالات للحفاظ على مستوى مرتفع لخدمات الشبكة من جميع الجوانب.

وفي الشهر 2006/6 وجّه مجلس النواب الأمريكي صفعة إلى حياد الشبكة بإبرامه تعديل قانون الاتصالات لعام 1996، ألغى بموجبه أي حماية لها. ويُحضِّر مجلس الشيوخ مشروع قرار كاسح خاص به لإعادة تنظيم الاتصالات. وحول هذه القضية المهمة هناك عريضتان يُطلب توقيع إحداهما، تلك التي أعدّها الموقع SavetheInternet.org (الذي يفضل حياد الشبكة) والأخرى التي أعدّها الموقع HandsOff.org (المعارض لحيادها). ■

ساينتيفيك أمريكان

(*) KEEP THE NET NEUTRAL

(1) سلسلة من الصور المتحركة التي تُرسَل مضغوطة عبر الإنترنت.

(2) cable owners أو مُلاّك الاتصالات.

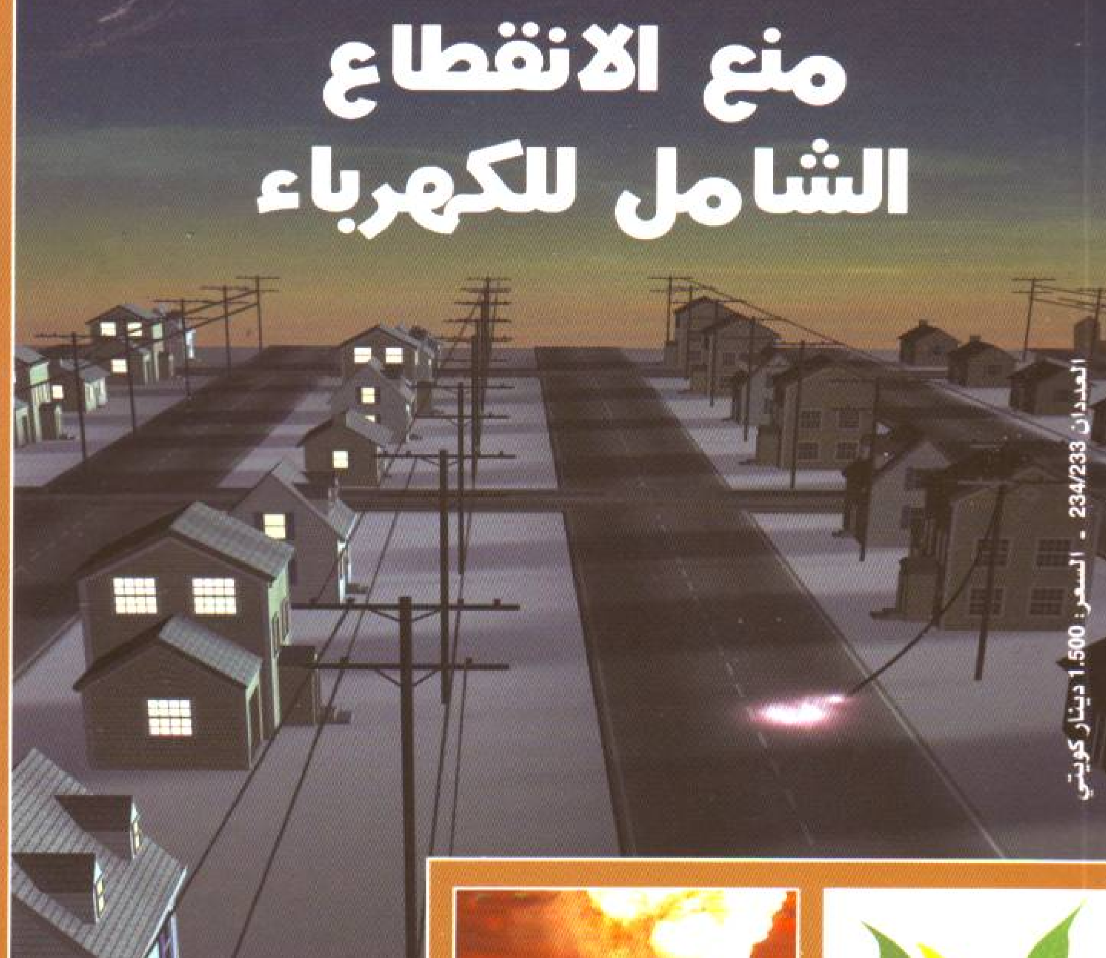
(3) blog، وأصلها weblog، وهي صحيفة إلكترونية تُحدَّث باستمرار، وتعبِّر عموما عن شخصية كاتبها أو عن موقع الشبكة الذي تصدر عنه. (التحرير)

مجلة
العلوم

الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 23 ـ العددان 10/9
سبتمبر/أكتوبر 2007

SCIENTIFIC
AMERICAN
September / October 2007



منع الانقطاع الشامل للكهرباء

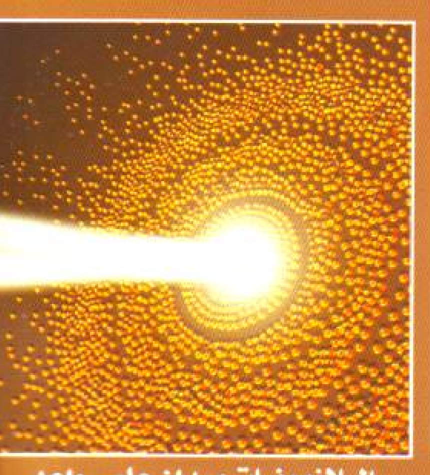
العددان 234/233 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي



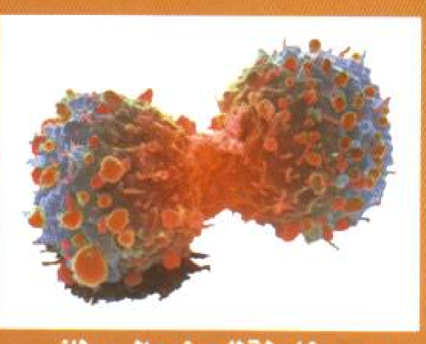
كشف الغموض حول التخدير



ما مدى ذكاء الغربان



البلازمونيات ميدان علمي واعد



رسم خارطة للجينوم السرطاني



سر الميثان على المريخ وتيتان



التابل المداوي

المقالات



ترجمة أو مراجعة

«**مجلة العلوم**» تصدر شهريا في الكويت منذ عام 1986 عن «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**»، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت. وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«**مجلة العلوم**» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«**ساينتفيك أمريكان**» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «**ساينتفيك أمريكان**» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول.

سر وجود الميثان على المريخ وتيتان(*)

إن وجود الميثان في الغلاف الجوي لكل من المريخ وتيتان، قد يعني وجود حياة أو نشاط جيولوجي غير عادي عليهما، ويعد ذلك أحد أعظم الألغاز المحيرة في المنظومة الشمسية.

«S. K. أتريا»

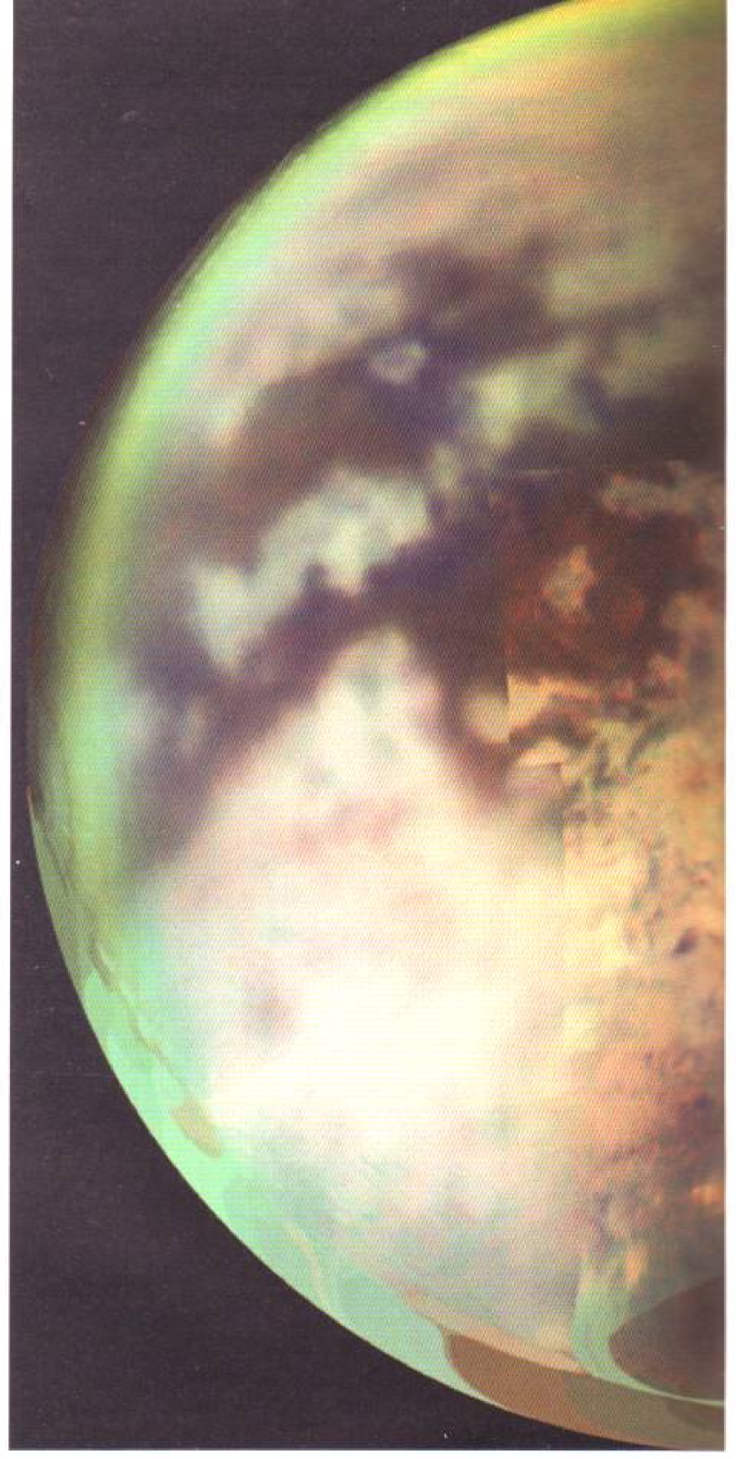
من بين جميع كواكب المنظومة الشمسية فيما عدا الأرض، حظي المريخ، على نحو قابل للجدل، باحتمالية عظمى لوجود حياة عليه، إما بائدة أو لاتزال قائمة. فهو يشبه الأرض في نواح عديدة: عملية تكوينه والتاريخ المبكر لمناخه ومستودعاته المائية وبراكينه وعملياته الجيولوجية الأخرى. وهذا ما يتواءم مع نشوء أحياء ميكروية (مجهرية). وثمة جسم كوكبي آخر هو تيتان، أكبر أقمار زحل، الذي عادة ما يُقحَمُ بصورة روتينية في مناقشات حول علم الأحياء خارج الأرض. فقد امتلك تيتان في المراحل البدائية من ماضيه، ظروفا تؤدي إلى تكون جزيئات مبشرة بنشوء حياة. ويعتقد بعض العلماء، في احتمال أنه كان ينبض بالحياة حينذاك، وربما ينبض بالحياة الآن.

ومما زاد الهواجس في هذه الاحتمالات، هو أن الفلكيين الدارسين لكلا العالمين قد اكتشفوا غازا، غالبا ما يقترن بأشياء حية وهو: الميثان. إنه يوجد في المريخ بكميات صغيرة لكنها ذات مغزى. أما تيتان فإنه، بالمعنى الحرفي، يموج بالميثان. والمصدر البيولوجي (الحيوي) للميثان هو الذي يبدو مقبولا، على الأقل كمصدر جيولوجي، بالنسبة إلى المريخ إذا لم يكن كذلك بالنسبة إلى تيتان. وربما يكون كل من التفسيرين خلابا في حد ذاته، بما يبين إما أننا لسنا وحدنا في الكون أو أن كلا من المريخ وتيتان يُؤويان كميات كبيرة من المياه الجوفية، إضافة إلى مستويات غير متوقعة من الأنشطة الكيميائية. ولعل فهم أصل الميثان ومصيره على هذه الأجرام سوف يمدنا بأدلة قاطعة عن العمليات التي أدت إلى تكوين وتطور وملاءمة السكنى للعوالم الأرضية في النظام الشمسي، وربما في عوالم أخرى.

والميثان (CH_4) متوفر في الكواكب العملاقة مثل - المشتري وزحل ويورانوس ونبتون. فهو نتاج عمليات كيميائية لمادة السديم الشمسي الأولي. أما على الأرض فإن الميثان يمثل حالة خاصة. وإن كان الميثان يشكل جزءا من بين 1750 جزء من البليون في الحجم

(*) THE MYSTRY OF METHANE ON MARS & TITAN

ساد الاعتقاد طويلا في احتمال أن يكون المريخ مقرا للحياة؛ واكتشاف الميثان في جوه أعاد بعث هذه الرؤى. ويبدو الوجه المرئي للمريخ ساكنا تقريبا، إلا من سحب قشيّة قليلة (بيضاء). ولكن الميثان ينم عن آثار دؤوبة لنشاط بيولوجي أو جيوكيميائي تحت السطح.



من الوجهة التقنية، يعتبر تيتان تابعا لزحل، ولكنه يعتبر كوكبا مكتملا بجميع المعاني والمقاييس، فغلافه النيتروجيني أكثف من غلاف الأرض وسطحه تم تشكيله بواسطة النشاط التكتوني وأنهار من ميثان سائل. لا أحد يعرف يقينا من أين يأتي الميثان. وقد التقط المسبار كاسيني الفضائي في عام 2006 هذه الصورة المركبة بالأشعة تحت الحمراء.

(ppbv) في الغلاف الجوي للأرض، فإن ما يراوح بين 90 و 95 في المئة منه ذو أصل بيولوجي. وذوات الحوافر أكلة الحشائش، مثل البقر والماعز وثيران الصوف الضخمة، تتجشأ وتطلق سنويا خُمْس كمية ميثان الكرة الأرضية كنتيجة إضافية مرتبطة بالعمليات البيولوجية البكتيرية في أحشائها. وهناك مصادر مهمة أخرى تشمل النمل الأبيض ومزارع الأرز والمستنقعات وتسرب الغاز الطبيعي (هو نفسه نتاج حياة مضت) ونباتات **التمثيل الضوئي** [انظر: «*الميثان والنباتات وتغير المناخ*»، **العلوم**، العدد 4 (2007)، ص 46]. وتضيف البراكين أقل من 0.2% من المخزون الكلي للميثان على الأرض، وحتى هذه البراكين قد تكون ببساطة منفذا لتصريف الميثان المنتج من الأعضاء الحية في الماضي. وتعتبر المصادر غير البيولوجية مثل العمليات الصناعية، أقل نسبيا. ولذلك فإن اكتشاف الميثان، على جرم آخر مشابه للأرض يقوي بطبيعة الحال توقع وجود الحياة على ذلك الجرم.

في الهواء الجوي(*)

هذا ما حدث مع المريخ عامي 2003 و 2004، حينما أعلنت ثلاث مجموعات من العلماء، كل على حدة، اكتشاف الميثان في الغلاف الجوي لذلك الكوكب. وباستخدام مطياف ذي قوة ميز عالية في مدى المقراب تحت الأحمر بهاواي وفي مقراب جيميني بشيلي، نجح فريق يقوده ‹M. موما› [في مركز گودارد الفضائي بوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا)] في اكتشاف تركيزات للميثان بزيادة قدرها 250 PPbv، مع تذبذب في قيمته على الكوكب وربما مع الزمن. وقد قام ‹V. فورميسانو› [من معهد الفيزياء والعلوم بين الكوكبية في روما] وزملاؤه (بمن فيهم أنا) بتحليل آلاف الأطياف تحت الحمراء التي سجلتها **السفينة المدارية «مارس اكسبرس»**(1) لكوكب المريخ. وقد وجدنا الميثان أقل كثيرا في الوفرة ويراوح بين صفر و 10 ppbv، مع معدل كوكبي قدره 10 ppbv تقريبا. وأخيرا قام ‹V. كراسنوپولسكي› [من الجامعة الكاثولوكية بأمريكا] وزملاؤه باستخدام المقراب (التلسكوب) الكندي الفرنسي بهاواي في قياس قيمة كوكبية متوسطة حددت بحوالي 10ppbv، ولم يستطيعوا تعيين التغير على الكوكب بسبب ضعف الإشارة المستقبلة وصغر قوة الميز الحيزي.

ويقوم الآن فريق ‹موما› بتحليل بياناته محاولا تعليل لماذا جاءت قيمتها خارج الحد المعقول. وللآن، فإني اعتقد أن القيمة 10 ppbv هي الأكثر احتمالا. فهي تناظر تركيز الميثان (بالجزيئات في وحدة الحجم) التي تساوي فقط 40 جزءا من المليون من تركيزه في الغلاف الجوي للأرض. ومع ذلك فحتى وجود الغاز الظاهر للعيان لا يزال يتطلب تفسيرا.

ومع أن الفلكيين قد اكتشفوا الميثان على تيتان في أوائل عام 1944، فإن اكتشاف النيتروجين بعد مرور 36 عاما على ذلك كان إضافة عملت على تكوين اهتمام هائل **بهذا القمر البعيد البارد**(2). ويعتبر النيتروجين مفتاحا لتكوّن الجزيئات البيولوجية مثل الأحماض الأمينية والنووية. إن أي جرم له جو من الميثان والنيتروجين بحيث يكون الضغط السطحي عليه يعادل مرة ونصف ما هو نظيره على كوكبنا، فإنه من المحتمل أن يكون له المكونات الصحيحة لتكون المواد الجزيئية المبشرة بالحياة، بل إن البعض قد تأمل حتى في نشأة الحياة نفسها.

ويؤدي الميثان دورا مركزيا تحكميا في صون الغلاف الجوي

(*) In the Air

(1) Mars Express orbiter

(2) انظر "*Titan*," by Tobias Owen; *Scientific American*, February 1982

النيتروجيني السميك لتيتان. فهو منبع الضباب (الشبورة) الهيدروكربوني الذي يمتص الأشعة الشمسية تحت الحمراء، ويدفئ طبقة الستراتوسفير بحوالي 100 درجة سيلزية، وكذلك الهدروجين، الذي تؤدي تصادمات جزيئاته إلى تدفئة نطاق التروبوسفير بمقدار 20 درجة. فإذا هرب الميثان، تنخفض درجة الحرارة، ويتكثف غاز النيتروجين إلى قطيرات سائلة وينهار بذلك الغلاف الجوي. ويتغير إلى الأبد السلوك الخاص بتيتان: فينقشع ضبخانه وسحبه، وتتوقف أمطار الميثان التي تبدو وكأنها قد شكلت سطحه، وتجف البحيرات والبرك والجداول. ومع رفع هذه الحُجُب يصبح سطح تيتان المتشقق عاريا، ويبقى مرئيا بوضوح للمقاريب على الأرض. ويفقد تيتان غموضه وينقلب إلى مجرد تابع آخر له غلاف جوي رقيق.

هل كان من الممكن أن يكون الميثان على المريخ وتيتان له أصل بيولوجي، كما هي الحال على الأرض، أم هناك تفسير آخر، مثل البراكين أو تصادم المذنبات والنيازك بالكوكب؟ لقد ساعد فهمنا للعمليات الجيوفيزيائية والكيميائية والبيولوجية على تضييق مجال مصادر الميثان الممكنة على المريخ، وكذلك العديد من الأدلة نفسها التي تنطبق على تيتان أيضا.

تحلل بضوء الشمس(*)

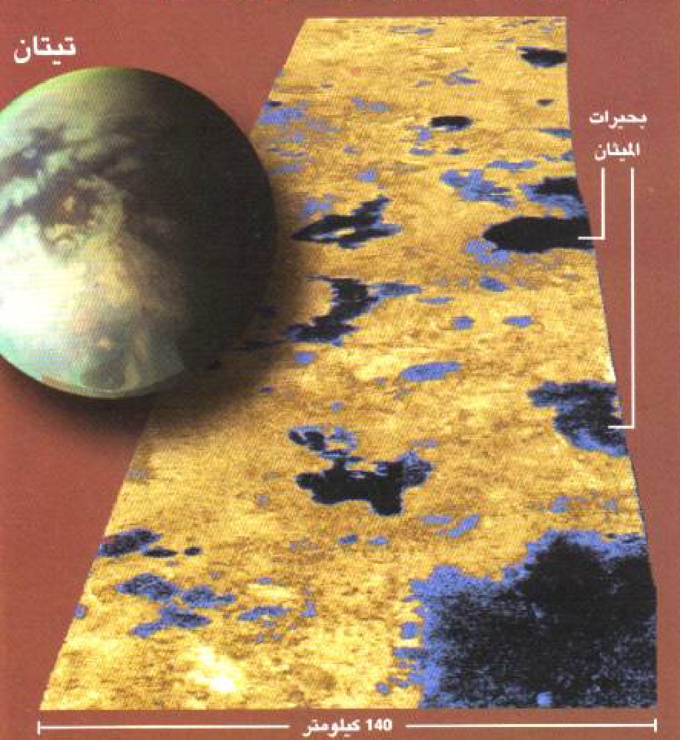
إن أول خطوة للإجابة عن هذا التساؤل هو تعيين المعدل الذي يفترض أن ينتج عنده الميثان أو يتم الحصول عليه. ويعتمد ذلك، من ثم، على مدى سرعة تخلص الغلاف الجوي منه. فعند ارتفاعات 60 كم أو أكثر فوق سطح المريخ يقوم الإشعاع فوق البنفسجي بتفكيك جزيئات الميثان عن بعضها. وفي أسفل الغلاف الجوي، تُكسرُ فوتوناتُ الأشعةِ فوق البنفسجية روابط جزيئات الماء التي تعمل على تأكسد الميثان. وتتكون ذرات الأكسجين والهيدركسيلات الأساسية (OH). ويختفي الميثان تدريجيا من الغلاف الجوي وبلا رجعة. و«عمر» الميثان - الذي يعرف

نظرة إجمالية/ الميثان(**)

- تحدث الفلكيون عن الحياة على المريخ على مدى قرن أو أكثر، ولكن نادراً ما استخدمت بيانات ذات جدوى. وهذا الموقف قد تغير عام 2003 مع اكتشاف الميثان في الغلاف الجوي. وهناك بعض العمليات الجارية التي يجب أن تضخه إلى الخارج كي توازن تحطيمه المستمر بضوء الشمس.
- لقد حصر الباحثون الاحتمالات في أمرين: الأول هو المريخيات - نوعيا فيما يشبه البكتيريات التي تنفث الميثان مثل ما يحدث في أحشاء البقر. والأمر الآخر هو تفاعل الصخر المائي (المسمى الدورة الاتفاقية أو السربنتينية) الذي يقع في نفاثات الأدخنة السوداء في قيعان البحار على الأرض. والاحتمال الأخير يبدو مخيبا للآمال، ولكنه ربما يستحق أن يكون اكتشافا مثيرا. وقد صممت عربة جوالة جديدة للانطلاق عام 2009 قد تكون قادرة على التثبت من هذا الأمر.
- وهناك جدل دائم حول قمر زحل الأكبر تيتان. فقد بين المسبار الفضائي هايجنز في عام 2005 أن الميثان يؤدي على تيتان، إلى حد كبير، الدور نفسه الذي يؤديه الماء على الأرض. وقد ينتج الميثان من تفاعلات كيميائية في مياه خفية (تحت سطحية) شاسعة.

لقطات فوتوغرافية من تيتان والمريخ(***)

اكتشف الفلكيون الميثان في غلاف تيتان الجوي في عام 1940، ولكن الضباب (الشبورة) الكثيف حجب رؤيتهم السطح. وقد شاهدت بعثة كاسيني-هايجنز المدى الذي وصل إليه الميثان في تشكيل التضاريس.



أحجام كبيرة من سائل، ربما يكون الميثان، تبدو في صور المسبار كاسيني الرادارية لنصف كرة تيتان الشمالي البعيد. ويبدو السائل داكنا (*باللون الأزرق*) وللسبب نفسه يبدو الطريق المبتل داكنا حينما تتحرك ليلا. ويعكس سطح السائل الناعم أشعة الضوء العمودية بعيدا عن عينيك. وبالعكس، تبدو المنطقة الجافة الخشنة لامعة. وقوة ميز هذه الصورة 500 متر.



تشكلت قنوات النهر بالميثان السائل المنساب من سلسلة من الأخاديد [بارتفاع حوالي 200 متر] منحدرا إلى قاع بحيرة (جافة الآن). وتدل تشكيلة الروافد على أن الميثان جاء من المطر الساقط. لقد التقط المسبار هايجنز هذه الصورة من ارتفاع 6.5 كيلومتر، عندما كان يهبط خلال الغلاف الجوي.

بالزمن الذي يستغرقه تركيز الميثان لينخفض بمعدل معامل الثابت الحسابي e أو تقريبا بالمعدل 3 - يراوح بين 300 و 600 سنة، معتمدا في ذلك على كمية بخار الماء الذي يتعرض لتغيرات فصلية، وكذلك على قوة الإشعاع الشمسي الذي يتغير خلال الدورة الشمسية. فالعمليات المشابهة على الأرض، تعطي الميثان عمرا يقارب عشر سنوات. وعلى تيتان، حيث تكون الأشعة فوق البنفسجية أضعف كثيرا وتكون الجزيئات الحاملة للأكسجين أقل وفرة بصورة جوهرية، يبقى الميثان من 10 ملايين إلى 100 مليون

Split by Sunlight (*)
Overview/ Methane (**)
SNAPSHOTS FROM TITAN AND MARS (***)



يوجد الميثان على الكوكب الأحمر فقط بأجزاء من البليون في الحجم [ppbv]، لذلك لا يُرى مباشرة مثلما يُرى على تيتان. وهناك عمليات تم رصدها يمكنها تدمير الميثان وتكوينه.

الضباب في غلاف تيتان العلوي يتكون من الهيدروكربونات التي تتشكل عندما يتفاعل ضوء الشمس مع الميثان. ويشبه هذا الضباب الضبخان في المدن. وقوة تميز هذه الصورة 700 متر.

سطح تيتان الذي لم يتم لمحه قبل هبوط المسبار هايجنز عليه في الشهر 2005/2. وربما يشبه حقلا مدكوكا بالصخور، لكن هذه الصخور هي في الواقع قطع غليظة من الجليد في حجم قبضة اليد. وبفحصها عن كثب تبدو علامات التآكل عليها من انسياب الماء وربما الميثان. وبينما يسخن المسبار التربة يرشح منها الميثان.

زوابع ترابية مثل تلك التي كشفتها سفينة مارس جلوبال سيرفيور في 21 مايو 2002. تحتك حبيبات التراب معا، وهكذا تنشأ مجالات كهربائية ستاتيكية قوية يمكنها أن تمزق جزيئات الماء فتنفصل بينها، وتؤدي إلى إنتاج البيروكسيدات المدمرة للميثان.

انسياب مياه جوفيه في ماضي المريخ قد يفسر هذه الحافة البيضاء المرتفعة (السهم) التي اكتشفتها حديثا سفينة مارس ريكونيسانس المدارية. فانسياب الماء خلال شقوق الصخر قد رسب المعادن، تماما مثلما يسبب الماء العسر تراكمات في أنابيب المنازل. وحينما تتآكل الصخور المحيطة تبقى المعادن على هذه الحافة. وربما تكون المياه الجوفية قد سهلت إنتاج الميثان.

بيانات الميثان	الأرض	المريخ	تيتان
تركيز جوي	1.750 ppbv	10 ppbv	5 precut
العمر الجزيئي في الجو بالسنوات	10	600	10 ملايين
معدل الإنتاج المطلوب لتحقيق كمية ثابتة (بالأطنان في السنة)	515 مليون	125	25 مليون
المصدر الأساسي	الماشية، النمل الأبيض، المستنقعات، أحواض الأرز، الغاز الطبيعي	البكتيرات ؟ تفاعلات الماء والصخور في الطبقات الصخرية المائية ؟	تفاعلات الصخور في المحيطات الجوفية

سنة (وهو ما يعتبر وقتا قصيرا بالمفهوم الجيولوجي).

إن عمر الميثان على المريخ طويل بما يكفي لكي تقوم الرياح وعمليات التشتت بخلط الغاز في الغلاف الجوي بانتظام تقريبا. وهكذا، تعتبر التغيرات المشاهدة لمستويات الميثان على الكوكب محيرة. فقد تكون علامة على أن الغاز يأتي من مصادر محلية أو يختفي في مستودعات محلية. والمستودع المحتمل هو التربة المنشطة كيميائيا، التي يمكنها أن تُعجِّل في فقد الميثان. فإذا ما عملت تلك المستودعات الإضافية، فإن الأمر يحتاج إلى مصدر أكبر للميثان للحفاظ على وفرة العنصر المشاهدة.

والخطوة التالية هي تدارس السيناريوهات المحتملة لتكوين الميثان. ويعتبر الكوكب الأحمر مكانا جيدا للبدء بذلك؛ لأن وفرة الميثان به منخفضة للغاية. فإذا لم تستطع الآلية المقترحة تفسير حتى هذه الكمية الصغيرة، فمن غير المحتمل أنها تكفي لتعليل كمية الميثان الكثيرة جدا على الكوكب تيتان. ولعمر قدره 600 سنة، يجب أن ينتج ما يزيد على 100 طن متري من الميثان كل سنة للحفاظ على متوسط سنوي ثابت معدله 10 ppbv. وهذا يعادل ربع في المليون من المعدل المنتج على الأرض.

وكما هي الحال على الأرض، فإن البراكين ليست هي المسؤولة

بالدرجة الأولى عن وجود الميثان. أما براكين المريخ فقد خمدت لمئات الملايين من السنين. إضافة إلى أنه إذا كان البركان مسؤولا عن الميثان، فإنه يضخ كذلك كميات ضخمة من ثنائي أكسيد الكبريت، في حين أن جو المريخ مفتقد لمركبات الكبريت. والمدد القادم من خارج الكواكب يبدو كذلك ضئيلا. ويؤخذ في الحسبان حوالي ألفي طن من تراب النيازك الدقيقة التي تصل إلى سطح المريخ كل عام. وأقل من 1% من كتلتها من كربون، وحتى هذه المادة تتأكسد بشدة، ومن ثم فهي مصدر غير مُجدٍ للميثان. وتمثل المذنبات حوالي 1% بالوزن من الميثان، ولكنها ترتطم بالمريخ بمعدل مرة واحدة فقط كل 60 مليون سنة في المتوسط. وبذلك تكون كمية الميثان المنقولة في هذه الحالة حوالي طن سنويا أو أقل من 1% من الكمية المطلوبة.

هل كان من الممكن أن مذنبا قد صدم المريخ في الماضي القريب؟ فربما قد أمده بكمية كبيرة من الميثان، وانخفضت مع الزمن الوفرة في الغلاف الجوي إلى نسبتها الحالية. إن تصادما بواسطة مذنب قطره 200 متر قبل 100 سنة أو مذنب قطره 500 متر قبل 2000 سنة، من الجائز أنه قد أمد الكوكب بكمية كافية من الميثان ليؤدي بذلك إلى المعدل العام والشامل الذي تكرر رصده وتحديده بما يساوي 10 ppbv، ولكن هذه الفكرة تجرنا إلى مشكلة: لأن توزيع الميثان على الكوكب غير منتظم. والوقت الذي يستغرقه توزيع الميثان بانتظام رأسيا وأفقيا هو عدة أشهر على الأكثر. لذلك يكون المصدر المذنبي المؤدي إلى انتظام توزيع الميثان على المريخ مناقضا للأرصاد.

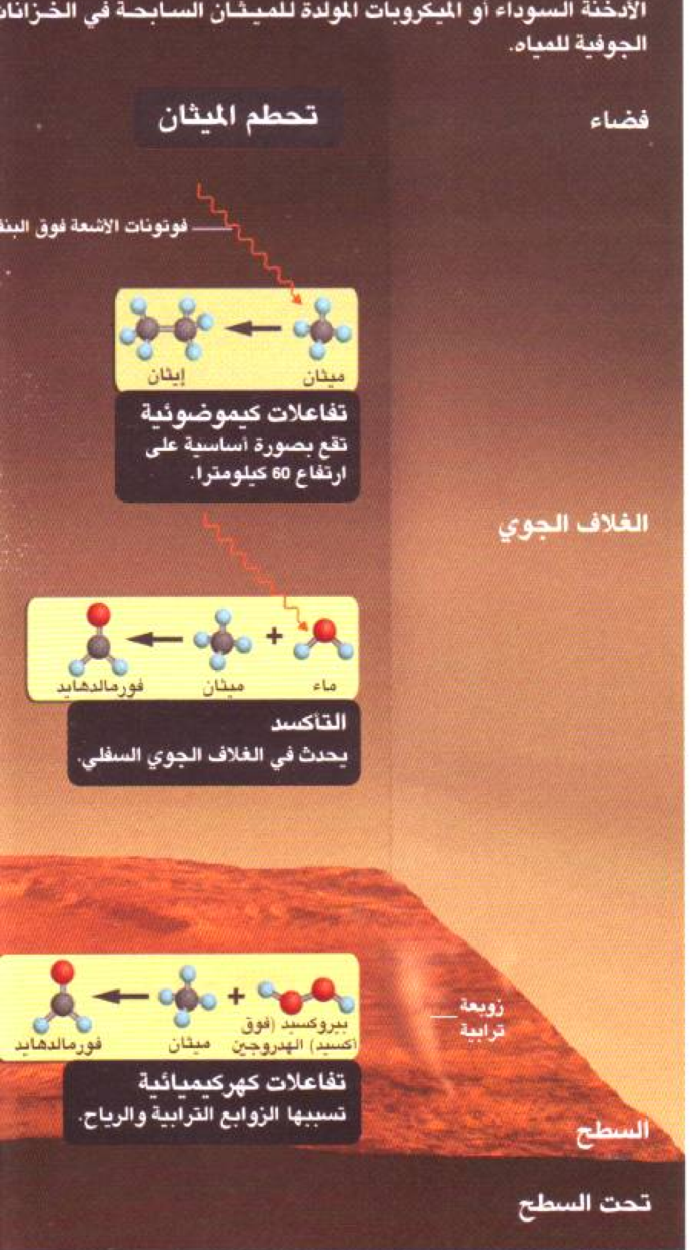
دخان في المائيات(*)

نحن بصدد مصدرين محتملين لإنتاج الميثان: مصدر مائع كيميائي أرضي والآخر ميكروبي، وكلاهما قد يكون أسرا للفكر. فمنافذ الموائع الحرارية المعروفة بنفاثات الأدخنة السوداء، التي اكتشفت أول مرة على الأرض سنة 1977 في حافة **صدع كالاپاكوس**(1) Galápagos Rift ومنذ ذلك الحين، وجد دارسو المحيطات هذه النفاثات الدخانية على طول العديد من الأخاديد وسط المحيطات. وتبين التجارب المختبرية أنه تحت هذه الظروف المنتشرة عند هذه المنافذ، فإن صخور السيليكا الغنية بالحديد أو المغنيسيوم، مثل **الزبرجد الزيتوني** olivine و**البيروكسين** pyroxene يمكنها أن تتفاعل لتنتج الهدروجين بطريقة تعرف بوجه عام بالدورة الالتفافية أو **السرپنتينية** serpentinization، ومن ثم يمكن أن ينتج الميثان من تفاعل الهدروجين مع حبيبات الكربون، أو ثنائي أكسيد الكربون، أو أول أكسيد الكربون أو الأملاح المعدنية الكربونية.

مفاتيح هذه العملية هي الهدروجين والكربون والمعادن (التي تقوم بدور العوامل المساعدة) إلى جانب عوامل الحرارة والضغط. كل ذلك ممكن على المريخ أيضا. ويمكن أن تقع عملية الدورة الالتفافية إما في درجات حرارة مرتفعة (360 إلى 400 سيلزية) أو عند درجات معتدلة (30 إلى 90 سيلزية). ومن المقدر أن هذه الدرجات المنخفضة يمكن أن تحدث داخل طبقات الصخور المائية المفترض وجودها على المريخ.

الميثان على المريخ(**)

بكل الأدلة، يجب ألا يكون للميثان وجود على المريخ. إذ ينمحي الغاز م الهواء بالتفاعلات الكيميائية الموجَّهة بضوء الشمس أو بعوامل الطقس والعمليات الجيولوجية والفلكية المعروفة لا يمكن أن تستعيضه بسرع كافية. وهكذا يبدأ ظهور الميثان نتيجة لنشاط غير ملحوظ مثل نفاثات الأدخنة السوداء أو الميكروبات المولدة للميثان السابحة في الخزانا الجوفية للمياه.



METHANE ON MARS (**)

Smoke the Waters (*)

(1) انظر: "The Crest of The East Pacific Rise" by Ken C. Macdonald - Bruce P. Lugendyle, *Scientific American*, May 1981


مصادر الميثان المعروفة
الرياح
يجب أن تقوم بخلط الميثان بانتظام في الغلاف الجوي، وهكذا تبقى التغيرات المشاهدة محيرة.
التراب النيزكي
يضيف كمية ضئيلة من الميثان.
صدمات المذنبات
تضيف كمية ضئيلة من الميثان.
البراكين
يمكن أن تنفث الميثان إذا تفجرت، ولكنها تبدو في العادة خامدة أو مضمحلة.
مركبة جوالة
مصادر ممكنة للميثان
صخر زبرجد زيتوني
ماء
هدروجين
هدروجين
أول أكسيد الكربون
ميثان
مناقذ ماء حراري
قد تنتج الميثان في عملية من مرحلتين محتويتين على الماء والصخر.
ماء
أول أكسيد الكربون
ميثان
ميكروبات
قد تنتج الميثان باختلاط الماء مع الكربون الحامل للجزيئات.
كلاثْرات الميثان
تختزن الميثان الذي تطلقه الميكروبات ونفاثات الأدخنة، وينفلت منها تدريجيا إلى السطح عبر الشقوق.

ومع أن عملية الدورة الالتفافية منخفضة الحرارة قد تكون مسؤولة عن إنتاج الميثان المريخي، فإن المجال البيولوجي تبقى له إمكانيات فعّالة. فعلى الأرض، تعمل العضويات البيولوجية الميكروية المعروفة **بالميثانوجينات** methanogens على توليد الميثان كناتج جانبي للهدروجين المستهلك وثنائي أكسيد الكربون أو أول أكسيد الكربون. فلو أن مثل هذه العضويات قد عاشت على المريخ، فإنها كانت سوف تجد مددا جاهزا من المواد المغذية لهذه العملية: كالهدروجين (المنتج إما من عملية الدورة الالتفافية أو المنتشر في التربة من الغلاف الجوي) إضافة إلى أول وثنائي أكسيد الكربون (في الصخور أو من الغلاف الجوي).

وبمجرد تكوّن الميثان، إما بواسطة عملية الدورة الالتفافية أو الميكروبات فإنه يمكن أن يخزن على صورة **كلاثْرات متميئة** clathratehydrate، أي كتركيبة كيميائية تحتجز جزيئات الميثان كحيوانات في قفص ـ لتنطلق فيما بعد إلى الغلاف الجوي، ربما عن طريق التسرب الغازي التدريجي خلال الشقوق والصدوع أو بواسطة الانفجارات العرضية التي تحفزها البراكين. ولا يوجد من يؤكد كيفية تكون الكلاثْرات بفاعلية أو كيفية وصولها إلى حالة عدم الاستقرار.

لقد أشارت أرصاد سفينة مارس اكسبرس إلى تركيزات أكبر للميثان في مساحات تحتوي على جليد مائي تحت سطحي. وقد يُفسَّر هذا الترابط عن طريق سيناريوهات جيولوجية أو بيولوجية. فقد توفر الصخور المائية تحت الثلج مسكنا لمخلوقات أو موقعا للإنتاج الجيوكيميائي المهدرج للميثان. ومن دون الحاجة إلى بيانات إضافية، تبدو الإمكانات البيولوجية والجيولوجية متساوية في احتمالاتها.

محيط في تيتان(*)

من أول وهلة، قد يعتقد المرء أن ميثان تيتان ربما يكون أسهل على الفهم: فهذا القمر قد تكوَّن في سديم فرعي لزحل، الذي يحتوي غلافه الجوي على كميات هائلة من الغاز. وحتى الآن تُظهر البيانات أن إنتاج الميثان محليا على تيتان أكثر احتمالا من جلب الميثان إليه. فالمسبار هايجنز Huygens للبعثة المشتركة «كاسيني ـ هايجنز» بين وكالتي «ناسا» والفضاء الأوروبية، لم يجد غاز زينون أو غاز كريبتون في غلاف تيتان الجوي. فلو أن اللبنات الكوكبية الأولية التي كونت تيتان قد جلبت معها الميثان، لكان من المفروض أن تجلب أيضا هذه الغازات النبيلة الثقيلة. إن غياب تلك الغازات يدل على أن الميثان في أغلب الاحتمالات قد يكون على تيتان نفسه.

لذلك يعتبر وجود الميثان له طبيعة غامضة على تيتان كما هي الحال على المريخ ـ من بعض النواحي أكثر من ذلك بسبب كميته الضئيلة (5% في الحجم). وهناك مصدر معقول، كما هي الحال على المريخ، وهو حدوث ظاهرة الدورة الالتفافية عند درجة حرارة منخفضة نسبيا. لقد افترض، جدلا، <Ch. سوتن> وزملاؤه [من جامعة نانتز بفرنسا] أن تيتان ربما أمكنه الاحتفاظ بمحيط جوفي سائل (انظر *المؤطر في هاتين الصفحتين*). والأمونيا الذائبة، التي تعمل كمضاد للتجمد، قد ساعدت على حفظه من التحول إلى الحالة الجامدة الصلبة. وفي نموذجهم، يبلغ المحيط 100 كم تحت سطح

الميثان على تيتان(**)

الميثان لتيتان مثل الماء للأرض: مادة تحفر الجداول في السطح، والبر... بالأحجام المتاحة، ويتبخر في الهواء، ليعود أمطارا إلى أسفل. وكما ع... المريخ، تستنفد التفاعلات الكيميائية ميثان تيتان، لذا يجب أن يعوض... النشاطان الجيولوجي والبيولوجي.





A Titanic Ocean (*)
METHANE ON TITAN (**)



مصادر الميثان الممكنة

ميكروبات
قد تنتج الميثان ولكن بكميات ضئيلة فقط.

أسيتيلين
ميثان

نهر ميثان

البراكين الباردة
تقذف الماء والأمونيا وحبيبات الثلج، وقد تنفث الميثان.

كلاثرات الميثان
يمكن أن تختزن الميثان في طبقات الثلج الذي تكوّن في ماضي تيتان، ثم ينطلق تدريجيا إلى السطح عبر الشقوق.

ينابيع مائية حرارية
ربما تكونت في الماضي البعيد حينما امتد المحيط إلى اللب الصخري.

تيتان ويمتد في العمق إلى ما يراوح بين من 300 و 400 كم. في الماضي، عمل تحلل العناصر المشعة والحرارة المتخلفة عن تكون تيتان على إذابة كامل الجسم الثلجي تقريبا - لذلك امتد هذا المحيط قاطعا جميع الطرق إلى أسفل حتى النواة الصخرية.

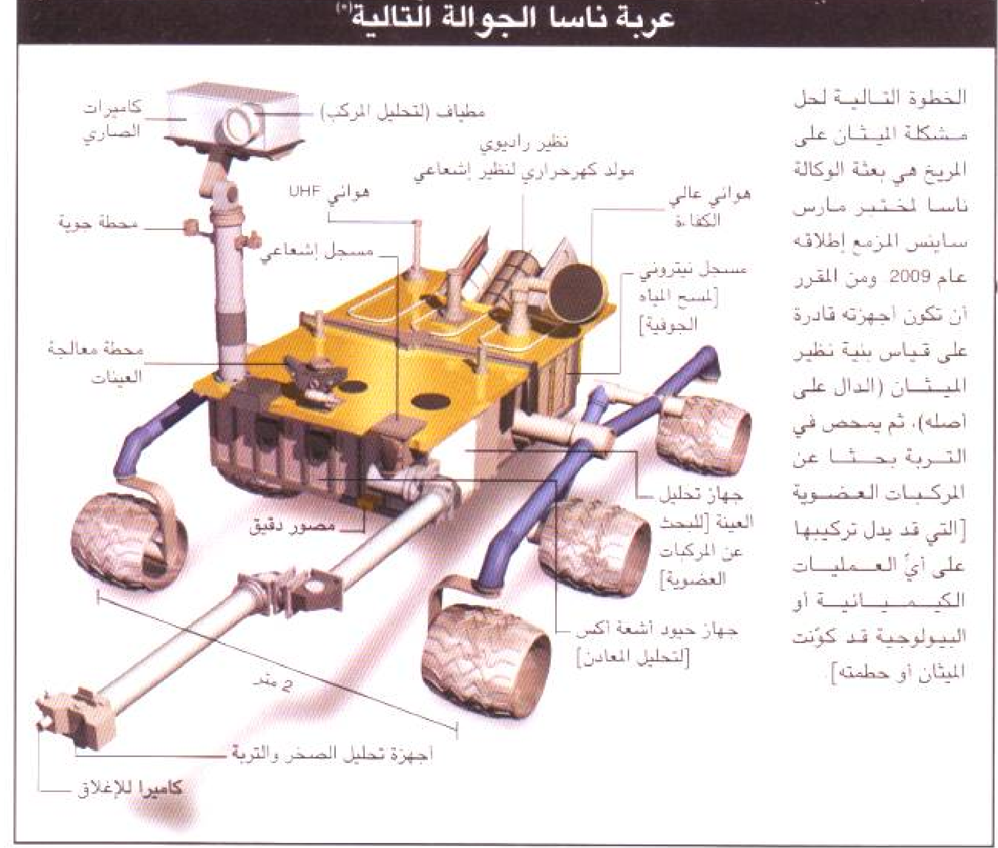
وفي هذه الظروف تطلق التفاعلات بين الماء والصخر غاز الهدروجين الذي يتفاعل من ثم مع ثنائي وأول أكسيد الكربون وحبيبات الكربون أو المادة الكربونية الأخرى - منتجا الميثان. وفي تقديري أن هذه العملية قد تكون قادرة على تفسير وفرة الميثان المرصود على تيتان. وبمجرد إنتاج الميثان، يُخزَّن على صورة كلاثرات مائية مستقرة، ثم ينطلق إلى الجو، إما تدريجيا خلال التبركن، أو أثناء الانفجارات، التي تحدثها التصادمات النيزكية.

وهناك دليل دامغ هو غاز الأرجون 40 الذي سجلته سفينة هايجنز Huygens عندما كانت تهبط خلال الغلاف الجوي لتيتان. ويتكون هذا النظير بواسطة التحلل الإشعاعي للبوتاسيوم 40، الذي ينفصل في الصخور عميقا في لب تيتان. ولأن عمر النصف الإشعاعي للبوتاسيوم 40 هو 1.3 بليون سنة، فإن الكمية الصغيرة للأرجون 40 في الغلاف الجوي تعتبر دليلا على الانطلاق البطيء للغازات من الداخل. إضافة إلى أن الصور البصرية والرادارية للسطح تبين علامات التبركن البارد - ناقورات الأمونيا الساخنة - الثلج المائي - الذي يدل أيضا على أن المادة تنبجس من الباطن. ويبدو أن سطح تيتان حديث نسبيا وخالٍ من الحفر النيزكية، الأمر الذي يشكل علامة على إعادة تشكل السطح بالمادة المنسابة من الباطن. والمعدل المقدر لإعادة تشكل السطح يتطلب انفلات الميثان من الداخل بسرعة كافية لتعويض **الفقد الضوئي الكيميائي** photochemical. ويؤدي الميثان على تيتان الدور نفسه الذي يؤديه الماء على الأرض، حيث توجد مستودعات للسائل السطحي والسحب والأمطار - أي دورة ميثالوجية كاملة الأركان. وهكذا يتحقق الحيز البرهاني الأساسي حتى بدرجة تفوق ما هو متاح للمريخ، فإن الميثان المخزون في الباطن سوف لا يواجه صعوبة في خروجه إلى السطح، ومن ثم في تبخره في الغلاف الجوي.

هل أمكن العمليات البيولوجية أيضا أن تؤدي دورا في تكوين ميثان تيتان؟ لقد اقترح كل من <Ch. ماكّاي> [من مركز أبحاث أميز Ames في الوكالة ناسا] و<H. سميث> [من جامعة الفضاء العالمية في ستراسبورگ بفرنسا] وأيضا <D. شولزي-ماكوش> [من جامعة واشنطن الحكومية] و<D. جرنسپون> [من متحف دينڤر للطبيعة والعلوم] أن الأسيتيلين والهدروجين يمكن أن يعملا كعناصر مغذية لتكون الميثانوجينات حتى عند أقصى برودة لسطح تيتان (-179 درجة سيلزية). تختلف عملية النشوء البيولوجي هذه عن تلك التي تستخدمها الميثانوجينات على الأرض، وأي من أقربائها، فعلى المريخ، لا يحتاج إلى الماء في ذلك. وتقوم الهيدروكربونات السائلة كبديل في توفير الوسط المساعد على سطح تيتان.

عربة ناسا الجوالة التالية(*)

الخطوة التالية لحل مشكلة الميثان على المريخ هي بعثة الوكالة ناسا لمختبر مارس ساينس المزمع إطلاقه عام 2009 ومن المقرر أن تكون أجهزته قادرة على قياس بنية نظير الميثان (الدال على أصله)، ثم يمحص في التربة بحثا عن المركبات العضوية [التي قد يدل تركيبها على أيٍّ العمليات الكيميائية أو البيولوجية قد كوّنت الميثان أو حطمته]



ولاتزال هذه الفرضية تعاني بعض القصور. فالبيانات المعطاة بواسطة السفينة «هيجنز» تستبعد المصدر الجوفي للأسيتيلين: هذا المركب الذي يجب أن يأتي أساسا من الميثان في الغلاف الجوي. وهكذا يبدو كدليل ثابت على إنتاج الميثان (بواسطة الميكروبات)، فالمرء يحتاج إلى الميثان. إضافة إلى ذلك فإن الوفرة الهائلة جدا للميثان على تيتان تتطلب أن تعمل الميثانوجينات بمعدل زائد يؤدي إلى إنتاجه بالدرجة التي تساعد على استنفاد العناصر المتاحة المغذية لتكوينه.

وبالنظر إلى هذه العوائق، نجد أن التفسير البيولوجي للميثان أقل جاذبية على تيتان منه على المريخ. ولهذا تتطلب، فرضية الاستيطان على القمر مزيدا من البحث. ويقترح بعض العلماء أن هذا القمر كان أو يجب أن يكون مأهولا. فهو يستقبل ما يكفي من ضوء الشمس ليحول النيتروجين والميثان إلى جزيئات تبشر بنشوء

(*) NASA'S NEXT ROVER

سوف تدرس عربة مختبر مارس سينس الجوالة العينات الغازية والصلبة للشواهد الكيميائية في ماضي الحياة وحاضرها.

الأحياء. فالمنقوع الجوفي من الماء والأمونيا مع بعض الميثان وبعض الهيدروكربونات الأخرى، المتبعثره هنا وهناك، يمكن أن تكون بيئة صديقة لتكوّن جزيئات معقدة أو حتى أعضاء حية. وفي الماضي البعيد، حينما كان تيتان يبرد فإنه من الممكن حينذاك أن يكون الماء السائل قد غمر سطح هذا القمر.

غذاء عضوي[*]

ومن القياسات الحاسمة التي أمكنها الإسهام في تعيين مصادر الميثان على المريخ وتيتان هي نسبة نظير الكربون. فالحياة على الأرض قد تطورت بتفضيل الكربون 12، الذي يتطلب طاقة أقل للترابط مما يتطلبه الكربون 13. فحينما تتحد الأحماض الأمينية، فإن البروتينات الناتجة تبدي عدم كفاءة ملحوظة في حالة النظائر الأكثر ثقلا. وتحتوي الأعضاء الحية على الأرض من 92 إلى 97 مرة من الكربون 12 أكثر من الكربون 13. أما بالنسبة إلى المادة غير العضوية، فإن النسبة العيارية هي 98.4.

إلا أن المسبار هايجنز قد قاس على تيتان نسبة 82.3 في الميثان، وهي تعتبر أصغر، وليس أكبر، من القيمة العيارية غير العضوية الأرضية. وهذه النتيجة تقف بشدة ضد وجود الحياة كما نعرفها. وللتأكيد، يقترح بعض العلماء أن الحياة يمكن أن تتهيأ على تيتان بشكل مختلف عنها على الأرض، أو أن نسبة النظير غير العضوي قد تكون مختلفة هناك.

وحتى الآن لم يُعيِّن أحد نسبة نظير الكربون للمريخ. وهذه القياسات تمثل تحديا حينما يكون تركيز الغاز منخفضا جدا (جزء من البليون مما هو على تيتان). إن **المختبر العلمي الجوال للمريخ** (MSL)[1] التابع لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) والمخطط لوصوله إلى المريخ عام 2010، سوف يكون قادرا على إجراء قياسات دقيقة لنظائر الكربون في الميثان وربما في مواد عضوية أخرى. وسوف يدرس أيضا عينات غازية وصلبة لمكونات كيميائية أخرى في ماضي الحياة وحاضرها، مثل نسبة الوفرة العالية جدا للميثان مقارنة بالهيدوركربونات الأثقل (الإيثان والبروبان والبيوتان) و**العوامل السائدة**[2] (أفضلية الجزيئات العضوية طبقا لقاعدة اليد اليسرى واليمنى).

وهناك تساؤل شديد الارتباط بهذه المسائل، وهو لماذا تبدو العضويات غائبة عن سطح المريخ. فحتى مع غياب الحياة والنيازك والمذنبات وجسيمات التراب بين الكوكبي فقد كان يجب أن يستقبل الكوكب المواد العضوية على مدى ما مضى من عمره الذي يقدر بأربعة بلايين ونصف البليون سنة. وربما تكمن الإجابة في الزوابع الترابية للمريخ وعواصفه العاتية والحركة التراقصية المعهودة للأتربة (حيث تتراقص حبيبات التراب المتطايرة بواسطة الرياح فيما يشبه رقصة الحجلة). وهذه العمليات تولد مجالات كهربائية ساكنة يمكنها أن تحفز التركيب الكيميائي **لبيروكسيد (فوق أكسيد الهدروجين)** hydrogen peroxide. ولكونه مانعا فعالا للتعفن، فإن بيروكسيد الهدروجين سوف يعمل على تعقيم الأرض وتخليصها بسرعة من العضويات. ويعجل المؤكسد أيضا من فقدان الميثان محليا من الغلاف الجوي، متطلبا ذلك مصدرا أكبر لتعليل معاملات الوفرة المشاهدة في الغلاف الجوي للمريخ.

وإيجازا لما سبق، يقوم الميثان كلاصق يعمل على تماسك تيتان بطرق غامضة بعض الشيء. إن وجود الميثان على المريخ خادع بالقدر نفسه وليس أقل من ذلك، لأنه يوحي بوجود صور للحياة على ذلك الكوكب. والكشف المستقبلي لكلا الجرمين سوف يلتمس تحديد ما إذا كانا مأهولَيْن من عدمه. ومع أن الحياة كما نعرفها يمكن أن تنتج الميثان، فإن وجود الميثان لا يشير بالضرورة إلى وجود حياة. لذا يجب على علماء الكواكب إجراء دراسة جادة لمصادر هذا الغاز والمكامن التي يوجد بها والتركيب النظائري له، وذلك بالتوازي مع الجزيئات العضوية الأخرى، ويتلمسوا هذه المكونات في العينات الغازية والصلبة على السواء. وحتى لو وجد أن الميثان ليس له ارتباط بالحياة فإن دراسته سوف تبين بعض الأوجه التي لها أهمية قصوى بالنسبة إلى نشأة المريخ وتيتان والتواريخ المناخية لهما وخصائصهما الجيولوجية وتطورهما بصفة عامة. ■

(*) Organic Food

(1) NASA's Mars Science Laboratory (MSL) rover

(2) chirality

المؤلف

Sushil K. Atreya

بدأ وظيفته الفضائية في الفرق العلمية لبعثات فويجر إلى الكواكب العملاقة، مستمرا مع سفن جاليليو وكاسيني-هايجنز وفينوس-إكسبرس ومارس إكسبرس ومختبر مارس سينس [المعد للإطلاق عام 2009] وجونو جوبيتر بولر المدارية 2011. تركز أبحاثه على أصل وتطور الأغلفة الجوية ونشأة الأنظمة الكوكبية. وهو أستاذ في جامعة ميتشكان في آن آربور، وهو زميل في جمعية تقدم العلوم الأمريكية، وعالم زائر متميز في مختبر الدفع النفاث. ويدين <أتريا> بالفضل لكل من <Ch. أتريا> و<W. هنترز> و<P. ماهاني> و<E. أدمز> للمناقشات والتعليقات على مسودات هذه المقالة.

مراجع للاستزادة

Detection of Methane in the Atmosphere of Mars. Vittorio Formisano, Sushil Atreya, Thérèse Encrenaz, Nikolai Ignatiev and Marco Giuranna in *Science*, Vol. 306, pages 1758–1761; October 28, 2004.

A Sensitive Search for SO_2 in the Martian Atmosphere: Implications for Seepage and Origin of Methane. Vladimir A. Krasnopolsky in *Icarus*, Vol. 178, No. 2, pages 487–492; November 2005.

Episodic Outgassing as the Origin of Atmospheric Methane on Titan. Gabriel Tobie, Jonathan I. Lunine and Christophe Sotin in *Nature*, Vol. 440, pages 61–64; March 2, 2006.

Titan's Methane Cycle. Sushil K. Atreya, Elena Y. Adams, Hasso B. Niemann, Jaime E. Demick-Montelara, Tobias C. Owen, Marcello Fulchignoni, Francesca Ferri and Eric H. Wilson in *Planetary and Space Science*, Vol. 54, No. 12, pages 1177–1187; October 2006.

Methane and Related Trace Species on Mars: Origin, Loss, Implications for Life, and Habitability. Sushil K. Atreya, Paul R. Mahaffy and Ah-San Wong in *Planetary and Space Science*, Vol. 55, No. 3, pages 358–369; February 2007.

Sushil K. Atreya's Web page: **www.umich.edu/~atreya**

Scientific American, May 2007

النفث العكسي للثقوب السوداء(*)

يمكن لثقب أسود منفرد، أصغر من المنظومة الشمسية في الحجم، أن يتحكّم في مصير عنقود كامل من المجرّات.

<W. تاكر> ـ <H. تاناباوم> ـ <A. فابيان>

لو رسمتَ خريطةً كبيرة للكون لبدت مثل خريطةٍ شبكة الطرق العامة التي تصل بين الولايات المختلفة في الولايات المتحدة الأمريكية. فالمجرّاتُ تتراصف على شكل خيوطٍ تتقاطع فيما بينها ضمن الفضاء **بين المجرّي**(1) كما تتقاطع الطرق. وتوجد بين هذه الطرق مناطقُ قليلة الكثافة نسبيا تمثّل الريفَ الكوني. أمّا عند التقاطعات الكبيرة ـ حيث تتقارب خيوط متعددة ـ فهناك **عناقيد مجرية**(2)، أو ما يماثل المدن الكونية الكبرى.

إن حجم هذه العناقيد مرعبٌ. فبينما يستغرق الضوء ثانيةً واحدة ونيّف ليصل الأرض انطلاقا من القمر، ونحو ثماني دقائق إذا انطلق من الشمس، فإن الضوء الصادر عن مركز مجرّة درب التبّانة يستغرق 25 000 سنة لكي يصلنا. ولكن حتى هذا الزمن يُعد ضئيلاً مقارنةً بالزمن اللازم للضوء لقطع المسافة بين طرفي عنقود مجري، والمقدّر بنحو 10 ملايين سنة. في الحقيقة، تُعد العناقيد المجرية أكبر الأجسام المتماسكة **تثاقليا** gravitationally في الكون. ومن الممكن للخيوط الشبيهة بالطرق أن تفوق العناقيد المجرية حجما، مع أنه لا يمكن اعتبارها، أي الخيوط، أجساما مترابطة **ثقاليا** gravitily.

إن التماسك التثاقلي يعني أن المجرّات والمادة الأخرى ضمن العنقود المجرّي المكتمل قد استقرت في حالة توازنٍ ديناميكي. وتتحرك المجرّات ضمن هذا العنقود دون أن تنفك منه؛ والذي يحول دون انفلاتها هو وجود **المادة المعتمة**(3): هذا النوع الغريب من المادة الذي لا دليل على وجوده إلاّ من خلال آثاره التثاقلية. وينجم عن تفاعل مختلف هذه المكوّنات داخل العنقود ظواهرُ عديدة وثرية، مازال الفلكيون في بداية استيعابها.

وكحال المدن الكبرى على الأرض، ليست العناقيد مجردَ مجموع لقاطنيها: لأن السيروراتِ التي تحدث على مستوى العنقود تقرّر مصيرَ الأحداث التي تقع على مستويات أصغر، كنمو مجرّات معيّنة أو تزويد **الثقوب السوداء الفائقة الكتلة**(4) والموجودة في مراكز هذه المجرّات بالوقود. وبدورها، تنفث الثقوبُ السوداء كمياتٍ هائلة من المادة بسرعات عالية جدا يمكنها أن تقود تطوّر العنقود المجرّي بمجمله. وللوهلة الأولى، تبدو هذه العلائق بين الأشياء الصغيرة والأشياء الكبيرة مثيرة للحيرة. فقُطْر كل ثقبٍ من الثقوب السوداء المعنيّة أصغرُ من قطر المنظومة الشمسية، ومن ثم تكون قدرتُها على التأثير في مصير العنقود المجري برمّته أشبهَ بحالِ حبة توت صغيرة تؤثّر في مصير كوكب الأرض بمجمله.

قضية الغاز المختفي(**)

تسمح هذه التفاعلات بتفسير كثير من الألغاز المزمنة في الحياة الحضرية للكون. ويعرف أحد هذه الألغاز **بمسألة الجريان المتبرد**(5)، ذات العلاقة بوجود غاز حرارته نحو عدة ملايين درجة ويملأ الفضاء الواقع بين المجرّات ضمن العناقيد المجرّية. إذا كانت المجرّاتُ ضمن العنقود المجرّي مماثلةً للمراكز المدنيّة في المدينة الكونية، فإن هذا الغاز يماثل الضواحي المحيطة بالمدن. وكحال الضواحي المحيطة بأكثر المدن الأمريكية، يُعد هذا الغازُ أكثرَ المناطق اكتظاظا وكثافةً: فهو يفوق في كتلته جميعَ نجوم المجرّات ضمن العنقود.

ويُصدر هذا الغاز، الذي يتمّ تسخينه بصورةٍ رئيسية من خلال **الانكماش التثاقلي**(6) البطيء للعنقود، أشعةً سينية. ونظرا لعدم قدرة المقاريب (التلسكوبات) الضوئية على رؤية هذا الغاز، ولأن الأشعة السينية لا تستطيع اختراق الغلاف الجوي للأرض، فإن اكتشاف ودراسة هذا الغاز قد اعتمدا على المراصد التي تدور حول الأرض. قبل نحو العقدين، لاحظ الفلكيون العاملون في مرصد اينشتاين السيني والتابع لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا NASA)، وفلكيّو آلات أخرى حائمة، أن الأشعة السينية التي يصدرها هذا الغاز تحمل طاقةً كبيرة جدا، بحيث لا بدّ للغاز الفاقد للطاقة أن يبرد شيئا فشيئا ليعود ويستقر في قلب العنقود، ومنه تسمية مسألة «الجريان المتبرّد». كان <فابيان> [أحد مؤلفي هذه المقالة] من الروّاد في دراسة هذه الجريانات باستخدام مرصد أينشتاين الحائم، ثم مركبة روسات ROSAT الألمانية ذات الأشعة السينية أيضا. ووجد مع معاونيه أنه سيكون لهذه الجريانات تأثيرات مثيرة، فلو استمرّت لبليون سنة لشكّلَ الغازُ المتوضعُ في المناطق المركزية من العنقود

(*) BLACK HOLE BLOWBACK
(**) The Case of the Disappearing Gas
(1) intergalactic
(2) cluster of galaxies
(3) darkmatter أو الخفية أو المظلمة
(4) supermassive black holes
(5) cooling flow problem
(6) gravitational collapse



ليس من الحكمة النظر إلى ما ينفثه ثقب أسود فائق الكتلة، ذلك أن هذا النفث يولد فقاعات من الغاز الحار الذي تكافئ طاقته طاقة ملايين أو بلايين النجوم المستسعرة.

تريليونات من النجوم الحديثة التكوّن.

ولكن المشكلة الوحيدة هي أنه لم يكن بإمكان أحد أن يجد هذه النجوم. وقد بحث الفلكيون عبثا عن مقادير كبيرة من غاز متبرّد، أو عن قبائل من نجوم حديثة التكوّن، ولكن دون جدوى. لو أن ثقبا أسود ابتلعها جميعها لصار ثقله يزن مقدار تريليون من النجوم، ولكن حتى أكبر الثقوب السوداء لا تبلغ هذا الثقل. وقد ظلّ باحث آخر منا (تاكر) على اعتقاده في أن هذه التدفّقات المتبرّدة، الكبيرة في الحجم، لم تحدث وهي غير موجودة على المدى الطويل. وأحد التفسيرات المحتملة لذلك هو أن انبعاثات الطاقة على المدى الطويل من المجرة التي في مركز العنقود المجري قد أدت إلى تسخين الغاز، ومن ثم إلى إيقاف هذا التبريد الإشعاعي. وعلى مدى سنوات قام فلكيو الموجات الراديوية بتجميع الشواهد لمثل هذا النشاط. ولكن لم يُعرف فيما إذا كانت هذه الانبعاثات قادرةً على تزويد طاقة لمنطقة كبيرة في الحجم تكفي لإيقاف الجريانات المتبرّدة. ويبقى اللغز قائما: يجب على الغاز ضمن العنقود أن يتبرّد، ولكننا لم نستطع اكتشاف المنتَج النهائي لهذا التبرّد.

كان حلّ هذا اللغز أحدَ أهم أهداف إطلاق مقرابين يعملان بالأشعة السينية عام 1999: مرصد تشاندرا Chandra ذي الأشعة السينية والتابع للوكالة ناسا ومرصد XMM-Newton التابع لوكالة الفضاء الأوروبية. ولكون الغاز في العنقود يُشعّ طاقته نحو الخارج بشكل بطيء نسبيا فإنه يحتفظ بسجلٍّ للفعاليات التي حصلت في العنقود خلال بلايين السنين القليلة الماضية. فعلى سبيل المثال، يحتوي هذا الغاز على العناصر والطاقة التي حُقنت فيه من انفجارات **المستسعرات**[1] التي حدثت ضمن مجرّات العنقود. وكحال علماء الآثار الذين يستكشفون الماضي من خلال الأحافير (المستحاثات)، فإن الفلكيين يستخدمون هذه المقاريب الحديثة لينقبوا في الأشلاء والآثار المتبقيّة من مجرّات العنقود من أجل معرفة تاريخها.

فقاعة، فقاعة[*]

إن العنقود الأكثر سطوعا والذي تمّ اكتشافه باستخدام الآلات التي تعمل بالأشعة السينية هو عنقود بيرسوس Perseus، وذلك بسبب سطوعه الذاتي الكبير وقربه النسبي إلى الأرض (نحو 300 مليون سنة ضوئية). لقد اكتشف مرصد روسات خلال التسعينات ثقبين كبيرين في الغاز الذي يتم ملاحظته بالأشعة السينية، وذلك في المنطقة المركزية من العنقود والتي يبلغ قطرها نحو 50 000 سنة ضوئية. ويبدو الثقبان كساعة رملية متوضعة على المجرة الضخمة NGC 1275. وقد أعاد <فابيان> ومعاونوه هذه الملاحظة، باستخدام مرصد تشاندرا هذه المرة، وقاموا بفحص الثقبين بتدقيق أكبر. وقد أظهرت بيانات تشاندرا الفجوتين بكلّ تفاصيلهما، موضحة اصطفافهما مع نفث الموجات الراديوية، التي تمّت ملاحظتها سابقا والمنبعثة من مركز المجرّة الضخمة. وفجوتا الأشعة السينية هاتان ليستا فارغتين، بل هما مملوءتان بحقول مغنطيسية وجسيمات عالية الطاقة، مثل البروتونات والإلكترونات. وترتفع وتعوم هاتان الفجوتان النشيطتان والمنخفضتا الكثافة لتضعا جانبا الغاز الحارّ الذي

(*) Bubble, Bubble

(1) supernova، أو المستعرات الفائقة.

يُصدر الأشعة السينية.

وتحتوي عناقيد أخرى كذلك على فقاعات. وقد كشفت أرصاد مرصد تشاندرا عن وجود فجوات أشعة سينية بانبعاثات راديوية مصاحبة لها وذلك في العناقيد: هايدرا Hydra A وهرقل Hercules A وآبيل Abell 2597. وقد كشفت المراقبات كذلك عن وجود فقاعات باهتة، سواء تمّت رؤيتها باستخدام الموجات الراديوية أو باستخدام الأشعة السينية، ممّا يدلّ على أن الجسيمات ذات الطاقة العالية داخلها قد فقدت غالبية طاقتها. وقد انفصلت "الفجوات الشبحية" هذه عن المجرّة المركزية، ويمكن أن تكون أثرا لمخلّفات فقاعات سابقة.

إن الفعالية الأكثر لفتا للنظر والتي تمّت رؤيتها عبر مرصد تشاندرا، هي ما اكتشفه <B. R.> ماكنامارا [الذي يعمل في جامعة واترلو بأونتاريو] ومعاونوه، في العنقود MS 0735.6+7421 (وسندعوه اختصارا MS 0735). ومع أن صورة هذا العنقود ليست بوضوح صورة عنقود پيرسوس، فإنها تخبرنا قصة مذهلة. يبلغ قطر كلٍّ من فجوتي الأشعة السينية للعنقود نحو 600 000 سنة ضوئية، أي أكبر بستّ مرّات من قرص مجرتنا درب التبّانة. ويدلّ حجما هاتين الفجوتين وكثافتاهما الملاحَظتان ودرجة حرارة الغاز المحيط بهما على أن عمرهما يبلغ نحو 100 مليون سنة ضوئية، وعلى أنهما تحتويان على طاقة حركية ضخمة مكافئة لطاقة 10 بلايين من المستسعرات. وحتى الفلكيون الذين اعتادوا التعامل مع البلايين والتريليونات يصابون بالدهشة من ضخامة هذه الفقاعات وما تمثّله من طاقة عملاقة.

وهذه الطاقة تكفي لحلّ لغز الجريانات المتبرّدة. وفي الحقيقة، لقد استخدم <J. R.> پيترسون [الذي يعمل في جامعة پيرديو] وآخرون، أطيافا تمّ قياسها بواسطة المقراب XMM ليبيّنوا عدم إمكانية حدوث الجريانات المتبرّدة في العناقيد التي تحوي مثل تلك الفقاعات - وهذا دليل قوي على أن الفقاعات توقف تبرّد الغاز. ولكن هناك حلقة مفقودة في هذه الحجّة: كيف يتم انتقال الطاقة من الفقاعة إلى الغاز؟

هناك إجابة واضحة عن السؤال السابق، وهي أن الفقاعات تولّد موجات صدم قوية مماثلة للانفجارات على الأرض وانتشارها في الغلاف الجوي. فعندما تندفع المادة الحاملة للطاقة والناجمة عن الانفجار نحو الغلاف الجوي بسرعات فوق صوتية، فإنها تجرّ معها الهواء المحيط بها ليشكّل غلافا رقيقا حولها. وتسبب الاصطدامات بين الجسيمات المنجرّة تحوّلَ الطاقة الحركية إلى حرارة. وكذلك فقد تمت ملاحظة موجاتِ صدمٍ قوية ضمن ظواهر كونية متنوعة، مثل مخلّفات انفجارات المستسعرات.

> **إن قدرة ثقبٍ أسود على التأثير في مصير عنقودٍ مجرّي برمّته أشبهُ بحال حبةِ توت صغيرة تؤثّر في مصير كوكب الأرض بمجمله.**

ويُقال إن <L. H.> مينْكن> لاحظ أنه «لكل مسألة معقدّة هناك إجابة واضحة وبسيطة ولكن خاطئة». ولسوء الحظ، يبدو أن ظاهرة تسخين غاز العنقود من خلال موجات الصدم القوية تنطبق عليها هذه الملاحظة. فالمقاريب لا ترصد أيا من تلك الأغلفة الرقيقة الحارّة التي كان سيولّدها هذا التسخين. ومن المحتمل أيضا أن يكون التسخين بواسطة موجات الصدم القوية متركزا على المناطق المركزية من العنقود بصورةٍ لا تكفي لإيقافِ تبريدِ غازِ العنقود الذي يحصل على نطاق واسع.

بيد أن هناك آلية أكثر احتمالاً لنقل الطاقة، وهي التسخين عبر الموجات الصوتية. فقد يكون الغاز بين المجرّات داخل العناقيد مخلخلاً وقليل الكثافة بالنسبة إلى مقاييسنا البشرية (فهو مكافئ لوجود بضعة آلاف من ذرات الهدروجين لا غير في المتر المكعب)، ولكنه لا يزال يسمح بانتشار الموجات الصوتية فيه. وتتطوّر هذه الموجات لتصبح موجات صدم ضعيفة، تكون بالكاد فوقَ صوتية، وتقوم بتسخينٍ لطيفٍ للغاز.

ومن خلال معالجةٍ خاصة لصور عنقود پيرسوس، وجد <فابيان> ومعاونوه المدفعَ الدخاني لهذه الفكرة، ألا وهو وجود متسلسلة من التموّجات الوحيدة المركز تقريبا. تتغيّر كثافة الغاز وقيمة ضغطه بشكل فجائي عند التموج الأقرب إلى الداخل، في حين لا تعاني درجة حرارته هذا التغيّر، ممّا يدلّ على كونه موجةَ صدم ضعيفة. وتتغيّر قيم الكثافة والضغط بشكل تدريجي عند التموّجات الخارجية الأبعد، ممّا يدلّ على كونها موجات صوتية. وتقتضي المسافةُ الفاصلة بين التموجات (35 000 سنة ضوئية) وحسابُ سرعة الصوت في الغاز

نظرة إجمالية/فقاعات عملاقة(*)

- اكتشف الفلكيون، من خلال استخدامهم مقاريب تعمل بالموجات الراديوية وبالأشعة السينية، فقاعاتٍ ضخمة تحوي جسيمات عالية الطاقة ويزيد قطرها على مئات الآف السنين الضوئية. ويتجاوز المقدارُ اللازم لتكوين هذه الجسيمات حدا يفوق الوصف والتصديقَ كما لو أن 100 مليون نجم صارت مستسعرًا دفعة واحدة.
- الشيء الوحيد القادر على تكوين مثل هذا العملاق هو ثقب أسود ضخم. فليس كلّ ما يقترب من الثقب الأسود مصيره الفناء، إذ إن الغازَ الحارّ والممغنط والذي يدوّم بشكل قرص نماء(1) نحو الثقب الأسود، يخضع لقوى كهرمغنطيسية آخذة بالنمو تلفظُ قسما من الغاز خارجا على شكل نَفْث ضيق(2).
- لا تكونَ النفوث فقاعاتٍ فحسب، بل إنها تمنح الحرارةَ والطاقةَ المغنطيسية إلى الغاز الواقع بين المجرّات ضمن العنقود المجرّي، ممّا يسمح بتفسير أحجيات في الفلك استعصى حلّها إلى الآن. ويبدو أن هذه السيرورة هي جزءٌ من دورةٍ تستغرق عدة ملايين من السنين لإتمامها، وهي ما ينظّم نمو المجرّات الفائقة الضخامة في مراكز العناقيد المجرّية.

(*) Overview/ Monster Bubbles

(1) accretion disk

(2) narrow jet، وجمعها نفوث.

تشريح بنية العنقود المجري(*)

إن أكبر الأشياء التي تستحق أن تُسمى «أشياء» هي العناقيد المجرية. ويتألف العنقود من نحو 1000 مجرة تجول وتدور ضمن كرة من الغاز الحار (*اللون الأحمر*) مثل النحل في خليته، في حين تمنعها الثقالة من التبعثر. وتوجد في مركز العنقود مجرة ضخمة - حيث تحدث في هذا المركز أعنف السيرورات الفيزيائية في الكون الحديث.

مجرات متصادمة

حزمة

تغضنات وتموجات
(موجات صوتية)

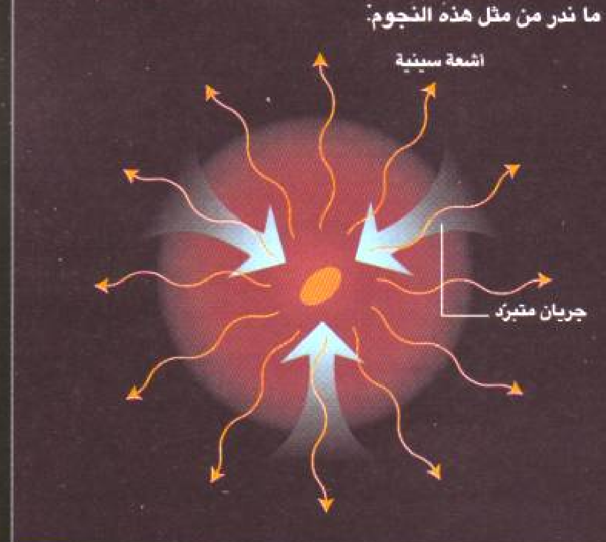
100 000 سنة ضوئية

تجويف كبير (فقاعة)

مجرة مركزية

10 ملايين سنة ضوئية

عندما تحمل الأشعةُ السينيةُ الطاقةَ للخارج، يتبرّد الغاز في العنقود ويبدأ بالتدفّق نحو الداخل. ومع مرور بلايين السنين، لا بدّ أن تتشكل نجوم جديدة من هذا الغاز المتبرّد، ولكننا لم نرَ إلاّ ما ندر من مثل هذه النجوم.



تفسّرُ دورةُ التسخين والتبريد سببَ عدم رؤيتنا لتلك النجوم. وتعيد نفوث الثقب الأسود الطاقةَ إلى الغاز وتوقف بذلك تدفّقَ هذا الأخير نحو الداخل.

يتبرّد الغاز ويبدأ بالجريان نحو الداخل

عندما يستهلك الثقبُ الأسود الوقودَ يتوقّف نفثه

يتوقّف تدفّق الغاز نحو الداخل

تتشتّت النفوث، ممّا يؤدي إلى تسخين الغاز

يزيد الثقب الأسود من دورانه حول نفسه ويطلق نفوثا

يلتهم الثقبُ الأسودُ المادةَ

ANATOMY OF A CLUSTER (*)

(1170 كيلومترا في الثانية)، مرور 10 ملايين سنة بين الحوادث المولدة للتموّجات. والمكافئ الموسيقي لطبقة الصوت هذه هو علامة «سي بيمول» في السلّم الموسيقي الذي يدنو علامة «دو» المركزية بـ 57 أوكتاف (سلّم موسيقي). وما يَنقُص هذه الموجات الصوتية من عذوبة موسيقية يتمّ التعويض عنه من خلال طاقتها وقوتها.

وتُلاحَظُ الظواهر نفسها في عنقود ڤيركو Virgo وهو العنقود الأقرب إلينا، حيث تفصلنا عنه مسافة 50 مليون سنة ضوئية تقريبا. لقد تمكّن <W. فورمان> ومعاونوه [في مركز هارڤارد سميثونيان للفيزياء الفلكية] باستخدام مرصد تشاندرا، من رؤية المجرّة المركزية M87 والرئيسية ضمن هذا العنقود. لقد وجدوا عالمًا من البنى السلكية، كلّ منها بعرض 1000 سنة ضوئية وبطول 50 000 سنة ضوئية. ومن الممكن أن تكون هذه الأسلاك، كحال التموجات في عنقود پيرسوس، ناتجةً من موجات صوتية ولّدتها سلسلة من فقاعات ناجمة بدورها عن انفجارات نحو الخارج ـ وتفصل بين الواحد منها والآخر الذي يليه فترةُ ستة ملايين سنة. وهكذا تعلو الدرجة الموسيقية لهذه الموجات الصوتية بمقدار أوكتاف (سلّم) واحد عن مثيلاتها في عنقود پيرسوس. وكذلك اكتشف فريق <فورمان> انبعاثا ساخنا على شكل حلقة نصف قطرها نحو 40 000 سنة ضوئية، ومن الجائز أن تكون جبهةً لموجة صدم ضعيفة. كما وجدوا باستخدام الأشعة السينية فجوةً ضخمة تبعد نحو 70 000 سنة ضوئية عن مركز المجرة.

وتغيّر السؤالُ الآن وأصبح يتعلق بكيفية قيام الطاقةِ الموجودة في الموجات الصوتية بتسخين الغاز. وقد يكمن الحل في عدم تغيّر درجةِ حرارةِ التموجات الداخلية في عنقود پيرسوس عبر جبهةِ الصدم. ويمكن للنقل الحراري أن يحمل معه بعيدا وسريعا طاقةَ جسيماتِ الغاز التي سخّنتها موجات الصدم، أو يمكن للإلكترونات ذات الطاقة العالية التي نفذت من الفقاعات أو أفلتت من وراء الموجات أن تتسرّع وتنطلق بعيدا لتسخّن الغاز. وأيّ من السيرورتين تمنع درجةَ الحرارة عند جبهة الصدم من الازدياد.

أعاصير كهرمغنطيسية(*)

مع ذلك، فإن السؤال الأكبر هو ما سبب وجود الفقاعات بدايةً؟ هناك نوع واحد من الأشياء يمكن علميا أن يولِّد مثل هذه المقادير الكبيرة من الطاقة وهو ثقب أسود فائق الكتلة. ومع أن غالبية الناس تفكّر بالثقوب السوداء على أنها البواليع الذروة، فإنها يمكن كذلك أن تجمع المادة ثم تنفثها خارجا بسرعات كبيرة. وتبقى المسألة المتعلقة بكيفية فعل الثقوب لذلك موضوعَ بحثٍ ودراسة مكثفَين في السنوات الماضية.

وتبيّن سيرورات المحاكاة أن الثقب الأسود يمكن أن يؤدي دور محرك عملاق. فالغاز الذي يسقط داخل هذا المحرك يزيد من سرعة دورانه، وعندها تحوّل الحقولُ المغنطيسية هذه الطاقةَ الدورانية إلى حركة خطية مسبِّبةً قذف جزء من الغاز. وأول من اقترح هذا السيناريو في أواخر السبعينات هو <R. D. بلاندفورد> [في جامعة ستانفورد] و<R. زناجيك> [وكان عندها في جامعة كامبردج، ثم ترك العالمَ الأكاديمي من حينها]. إن الثقب الأسود الدوّار يسبب ليًا في بنيةِ نسيج الفضاء حوله، ممّا يُجبر الحقول المغنطيسية في الغاز الساقط للداخل على اتّخاذ شكل قِمع. فنحصل على إعصار كهرمغنطيسي يقذف خارجا حقولاً وجسيمات مشحونة ضمن نَفْثَين متعاكسين. أما الثقوب الدوّارة ببطء، فتطلق نفوثًا ضعيفة؛ فتستمرّ غالبيةُ الغاز الساقط في طريقها نحو الثقب لتُفقَدَ إلى الأبد. وخلافا لذلك، تُطلق الثقوبُ السوداء السريعة التدويم ربعَ الغاز الساقط تقريبا نحو الخارج.

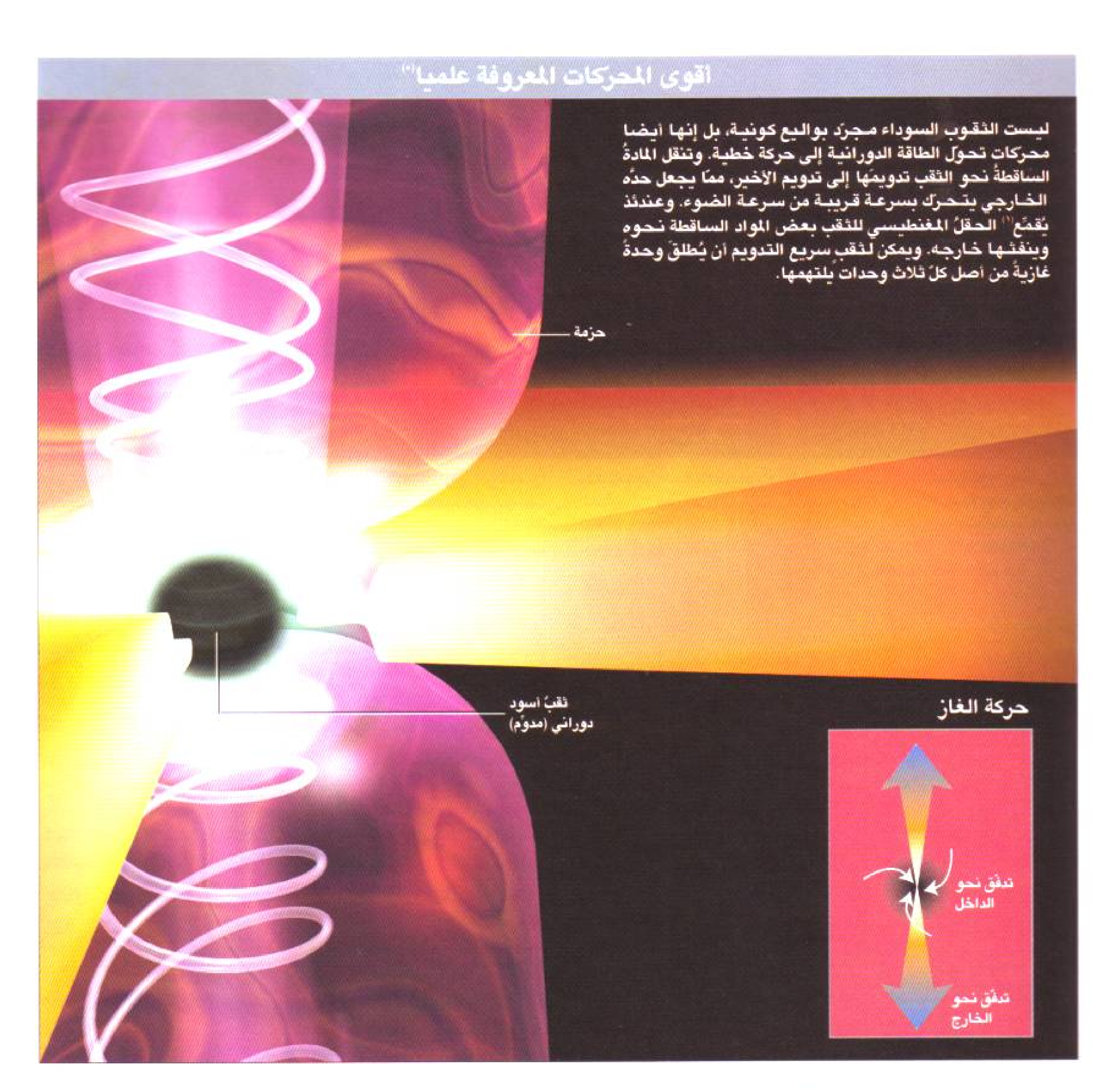
ونتوقّع للثقوب السوداء الفائقة الكتلة والمتوضعة في مراكز المجرّات أن تدوّم خلال استزادتها للكتلة عبر امتصاصها للغاز. وعندما يبتلع الثقبُ كميةً كافية من الغاز بحيث تتضاعف كتلته فإن أفقه، أو حدّه الخارجي، ينبغي أن يتحرك دورانيا بسرعة قريبة من سرعة الضوء. ووفقا لنظرية أينشتاين في النسبية، لا يمكن للثقب أن يصل إلى سرعة الضوء، مهما كانت كمية الغاز التي التهمها، ومن ثم فإن أيّ قطعة إضافية مكتسبة من الغاز سينجم عنها تأثير متناقص. وتؤكد طرقٌ متنوعة في الرصد من أجل تقدير تدويم الثقوب السوداء، أن كثيرا من هذه الأخيرة تدور حول نفسها بسرعة كافية لإطلاق نفوث قوية وفق السيناريو السابق. ويمكن لظاهرة مماثلة أن تحدث على مستوىً أصغر: فالثقوب السوداء النجمية الكتلة، أي التي تقارب كتلُها كتلة دزّينة من الشموس (عوضا عن بلايين منها)، يمكن أن تضخ خارجا نفوثا قوية من جسيمات بسرعات قريبة من سرعة الضوء، ممّا يسخّن الغاز المحيط ويدفعه جانبا.

وتبيّن الحساباتُ أن نفوث الثقوب السوداء لها مركّبتان أساسيتان: تدفّقٌ، أغلبه مادي، للخارج ويتحرك بسرعة مقاربة لثلث سرعة الضوء، مشكّلاً الغلاف الأبعد من القِمع، أمّا المركّبة الأخرى فهي المنطقة الداخلية على طول محور القِمع وتحتوي على غاز مخلخل لجسيمات بطاقات عالية جدا. إن المنطقة الداخلية هي ما يحمل القسم الأكبر من الطاقة ويخلق البنى الدرامية التي يراها فلكيّو الأشعة السينية أو الموجات الراديوية.

إن إحدى أهم الخصائص المدهشة لنفوث الثقوب السوداء هذه هي قدرتها على المحافظة على شكل قلم الرصاص الذي لها حتى بعد اجتيازها مسافات من رتبة مئات الآف السنين الضوئية، بعيدا عن نطاق مجرّاتها الأولية بكثير. وإضافة إلى ذلك، تنجحُ النفوث في تحقيق هذا الأمر، وهي بالكاد تُشعّ أية مقادير من الطاقة التي تحملها. ومن الممكن لضغط الغاز قرب الثقب الأسود أن يولد نفثا على شكل حزمة ضيقة، ثم يقوم القصور الذاتي بإبقاء النَّفْث ضيقا، تماما كما ينبثق الماء من خرطوم سقاية أو كما يتدفّق البخار من غلاية الشاي ذات الضغط العالي. وكذلك يمكن للحقول المغنطيسية الملتفّة والمتراصّة التي تنطلق خارجا مع النفث أن تؤدي دورا في تحقيق هذه الخاصة.

وبغضّ النظر عن آلية الاحتجاز، فإن ضغط الغاز الذي يتحرّك ضمن

(*) Electromagnetic Tornadoes



النفث سيفرض نفسه تدريجيا لتتباطأ النفوث وتعرض وتنتفخ مكوِّنة غيوما ضخمة من الجسيمات ذات الطاقة العالية والمغنطة. وتستمرّ هذه الغيوم بالاتّساع مُزيحة للخارج الغازَ المحيط فتخلق بذلك الفجواتِ المعتمة، التي تم رصدها بالأشعة السينية في مرصد تشاندرا.

الدورة الهدرولوجية الكونية(**)

إن الأحداث المتعاقبة - التي تبدأ بسقوط غاز داخل ثقب أسود سريع التدويم، لينجم عن ذلك نفوث ضخمة تتحرك نحو الخارج، مشكِّلة فقاعاتٍ عملاقة من جسيمات بطاقات عالية، تقوم بتسخين مناطق واسعة من الفضاء - تمثّل سيرورةَ نفثٍ عكسي لنسب كونية حقيقية. إن الثقبَ الأسود لا يستجيب فحسب للأحداث، بل يؤثّر بدوره في هذه الأحداث التي تحصل على مستوى العنقود المجرّي برمته.

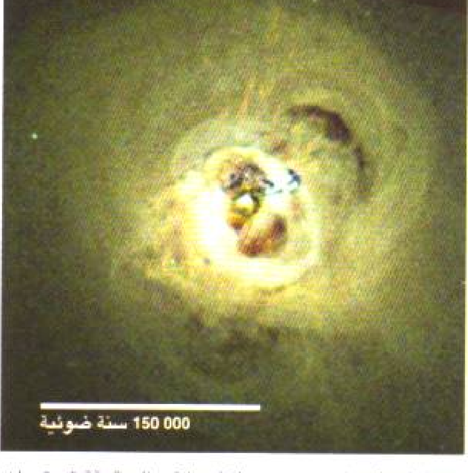
وأحد السيناريوهات المحتملة هو الآتي: في البداية، يكونُ الغازُ في العنقود المجرّي حارا جدا ويكون الثقبُ الأسود الفائقُ الكتلة الموجودُ في مجرّة ضخمة هادئا. وخلال نحو 100 مليون سنة، يبرد الغازُ الموجود في المناطق المركزية للمجرة ويأخذ بالانجرار نحو المجرّة المركزية في جريان متبرِّد. ويتكاثف قسمٌ من هذا الغاز في الجريان المتبرّد ليشكّل نجوما تصبح لاحقا جزءا من المجرّة المركزية، في حين يغوص قسمٌ آخر ويكمل الطريقَ إلى آخره ليُغذّيَ الثقبَ الأسود الفائق الكتلة. وعبر هذا الفعل، يخلقُ الغازَ قرصَ استزادةٍ للثقب ويؤدي إلى إطلاق نفوث بطاقة عالية.

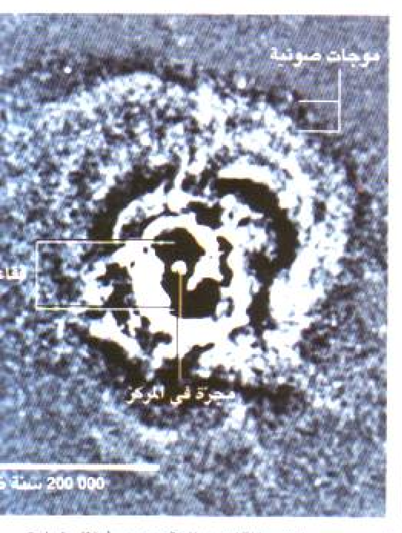
(*) THE MOST POWERFUL ENGINE KNOWN TO SCIENCE

(**) The Cosmic Hydrologic Cycle

(1) funnel: يُقمِّع: يجعله على شكل قمع







يبدو عنقود بيرسوس ساكنا عندما نرى باستخدام الضوء المرئي (في اليمين)، ولكن الحياة تدبّ فيه عندما يُرصد باستخدام الأشعة السينية (في الوسط). يمتلئ الفضاء الواقعُ بين المجرّات بغاز حارّ تحيكه عُرى وأسلاك وأشرطة مضيئة. وتستقر في قلب المجرّة المركزية NGC 1275 فقاعتان تبدوان فارغتين، ولكنهما في الحقيقة تحتويان على جسيمات بطاقات عالية. ومن خلال زيادة التباين في الصورة (في اليسار) تتبدّى تموجاتٌ نعتقد أنها موجات صوتية تنقل الطاقة إلى الغاز الواقع بين المجرّات. ومن أجل رؤية ديناميكية للصور، تصفّح الموقع chandra.harvard.edu/photo/2003/perseus/animations.html

وتنطلق النفوث من داخل المجرّة لتصل خارجها، حيث يوجد غازُ العنقود المجرّي، فتتحول طاقتُها إلى حرارة، ثم تُنقص هذه الحرارةُ من شدّة الجريان المتبرّد، إن لم توقفه نهائيا. يشبه الأمرُ إذًا عضّ اليد التي تمتدّ إليك. ذلك أن إيقاف الجريان المتبرّد يؤدي إلى إيقاف تزويد الثقب الأسود الفائق الكتلة بالغاز، ويعود الثقبُ تدريجيا إلى حالة الهدوء. وتتخامد شيئا فشيئا النفوث، ممّا يحرمُ غاز العنقود من مصدر الحرارة. وبعد مرور ملايين أخرى من السنين، يكون خلالها قد تبرّد الغازُ الحارّ والموجود في المنطقة المركزية من العنقود بشكل كافٍ ليبدأ فصلٌ جديد من النمو للمجرة وثقبها الأسود الفائق الكتلة، مما يؤدي إلى استمرار الدورة.

وتدعم هذا السيناريو صورٌ بقدرةِ تحليل عاليةٍ لعنقودي ڤيرگو وهيدرا Hydra وعناقيد أخرى أُخذت باستخدام الأشعة السينية أو الموجات الراديوية. فهذه الصورُ تُقدّم دلائل على وجود انفجارات متكررة تحدث بالقرب من الثقوب السوداء الفائقة الكتلة الموافقة للمجرّات المركزية. إن وجود الحلقات المغنطيسية والفقاعات والأشياء ذات الشكل الريشي والنفوث، بأحجام متفاوتة تراوح من بضعة آلاف إلى مئات الآلاف من السنين الضوئية، يؤدي إلى حدوث هذا النوع من النشاط العنيف داخل العناقيد المجرّية خلال فترة تمتدّ إلى مئات من ملايين السنين.

وإحدى النتائج المذهلة هي أن الثقوب السوداء الفائقة الكتلة لا تزال تنمو وتكبر بمعدّل سريع حتى يومنا هذا، في حين كان الفلكيون يعتقدون سابقا أن نموّها قد تناقص. وفي حالة العنقود MS 0735، يدل هذا النشاط على أن الثقب الأسود الفائق الكتلة قد ابتلع ما يكافئ 300 مليون شمس خلال 100 مليون السنة الماضية ـ وبذلك يكون قد ضاعف من حجمه وكتلته في هذه الفترة القصيرة نسبيا. ومع ذلك، لا دلائل على وجود أنواع أخرى من النشاط في الثقب الأسود المركزي هذا، كأن يُصدر أشعةً سينية ساطعةً أو ضوءا مرئيا كما تفعل عادةً الثقوب النشيطة. ونستطيع كشف خواص هذا النظام اللااعتيادي فقط من خلال الفجوات التي تم رصدها بالأشعة السينية.

نتائج كونية(1)

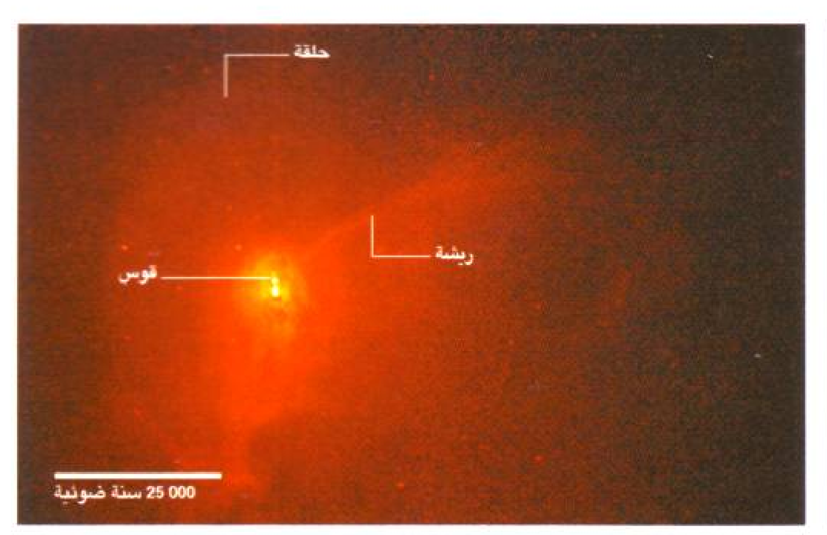
ومما يؤكد هذا السيناريو وجود التصادمات المجرّية التي تحدث دائما في المناطق المركزية من العناقيد المجرية. فعندما تمرّ مجرّة صغيرة نسبيا بالقرب من المجرّة المركزية الضخمة بدرجة كافية، فإنها تتمزّق إربا، فتلتحق نجومُها بالمجرّة الأكبر ويضيع قسمٌ من غازها في بالوعة الثقب الأسود. أمّا ثقبها الأسود المركزي فيلتحم مع ذلك الموجود في المجرّة الضخمة. إن الفجوات الضخمة التي لاحظناها في العنقود MS 0735، يمكن أن تكون الناتجَ النهائي لسلسلة أحداث بدأت عندما التحمت مجرّةٌ بالمجرّة المركزية فأدّت إلى تدفّق ضخم من الغاز نحو الداخل باتّجاهِ ثقبٍ أسودَ فائق الكتلة.

يمكن أن يساعدَ دورُ التصادمات في العناقيد المجرّية العلماءَ على فهم تطوّر المجرّات في الكون في مراحله المبكرة. وبمعنى ما فإن العناقيد عبارة عن أحافير (مستحاثات) حيّة، لأنها تمثّل الأمكنة الوحيدة في الكون التي تحتوي على الشروط التي كانت سائدة قبل بلايين السنين عندما كانت المجرّاتُ أقربَ بعضها إلى بعض منه الآن وعندما كانت حوادثُ الالتحام والاتّحاد أكثرَ شيوعا. وتبيّن أعدادٌ متزايدة من الأبحاث أن كثيرا من مظاهر تشكّل المجرّات وتطوّرها ـ أي حجم المجرّات وشكلها ومعدّل تشكّلها ـ يمكن أن يفهم من خلال افتراض وجود دورة كونية تتضمّن اتّحاد المجرّات والتحامها. فقد بيّن <F. Ph> هوپكنز ومعاونوه [في مركز هارڤارد-سميث للفيزياء الفلكية] من خلال سيرورات المحاكاة التي أجروها باستخدام حواسيب ضخمة

(1) Cosmic Consequences



إن أقوى الانفجارات التي تمت مشاهدتها حدثت وتستمر في حدوثها في العنقود MS 0735 منذ 100 مليون سنة. وتعتبر الفقاعتان (اللون الأزرق) في هذه الصورة المركّبة والتي حصلنا عليها باستخدام الأشعة السينية والموجات الراديوية معا، أقوى بـ 250 مرّة من نماثلتيها في عنقود بيرسوس.



تعوّض النفوث إلى خارج المجرّة M87 في عنقود فيركو عن ضعفها النسبي - حيث إن طاقتها لا تتعدّى 0.01 في المئة من طاقة مثيلاتها في العنقود MS 0735 بأشكالها وتفاصيلها المتنوعة. فهناك نفوث بشكل ريش ملتو (وقد تكون هذه بقايا من انفجارات سابقة) أو بشكل أقواس (قد تكون موجات صدم shock waves) أو بشكل حلقات ضعيفة (قد تكون موجات صوتية).

إن اتّحاد المجرّات الغنية بالغاز يدفع إلى تشكيل أعداد كبيرة من النجوم وإلى حدوث تدفّقات غازية نحو الداخل باتّجاه المنطقة المركزية. ويؤدّي الغاز الساقط نحو الداخل إلى نمو سريع للثقب الأسود الفائق الكتلة وإلى زيادة في الإشعاع الصادر عن المنطقة المحيطة به. وبدوره يرمي هذا النفثُ العكسي مقادير كبيرةً من الغاز خارج المجرّة ليتباطأ تشكّلُ النجوم بشكل مفاجئ، ممّا يُنقص ويبطّئ نموّ الثقب الأسود - ويستمرّ ذلك إلى أن يحدث التحامٌ آخر.

لقد حدث القسم الأكبر من سيرورة **التغذية الراجعة**(1) هذه والتي تحكّمت في تطوّر المجرّات في الماضي قبل نحو ٨ إلى ١٠ بلايين سنة. ومن حينها، صار الكون أرقّ بكثير (من خلال اتّساعه وتمدّده ومن خلال ندرة سيرورات تشكّل المجرّات) - باستثناء داخل العناقيد. إن سيرورات النفث العكسي في العناقيد مشابهة (وإن كانت غير مطابقة) للسيرورات التي حدثت في الكون القديم، تسمح للفلكيّين بدراسة النفوث والفقاعات والموجات التي تحكّمت في مصير مجرّتنا ومجرّات أخرى.

قد يبدو غريبا أن تؤثّر الثقوب السوداء الفائقة الكتلة التي تراوح كتلها بين بضعة ملايين ومئات الملايين من كتلة الشمس، في المجرّات التي تراوح كتلها بين بضعة بلايين وبضع مئات البلايين من كتلة الشمس، هذا إذا لم نذكر تأثيرها في مصير العناقيد المجرّية برمّتها والتي تُقاس كتلها بمئات التريليونات من كتلة الشمس. ويكمن ذلك في توضع الثقوب السوداء الفائقة الكتلة وحقولها التثاقلية في منطقة صغيرة جدا. إن الثقوب السوداء الفائقة الكتلة هي أكبر مزوّد للطاقة الكامنة التثاقلية في المجرّة كلّها. وعبر انتزاعنا لهذه الطاقة من خلال أقراص النماء، وذلك بإطلاق النفوث الضخمة، فإن النفث العكسي يُزيد بمقدار كبير قدرة هذه الثقوب السوداء - ممّا يجعله من أهم السيرورات الفيزيائية التي تحدث في الكون. ■

(1) feedback، أو الارتجاع، التلقيم المرتد.

المؤلفون

Wallace Tuker - Harver Tananbowm - Andrew Fabian

إنهم من روّاد علم الفلك بالأشعة السينية ومن أهمّ العاملين فيه. تتركّز أبحاث «تاكر» [المتحدّث العلمي لمركز تشاندرا للأشعة السينية] حول المادة المعتمة وعناقيد المجرّات ومخلّفات المستسعرات. وقد نشر العديد من الأبحاث العلمية والمقالات (بما في ذلك ثلاث مقالات في ساينتفيك أمريكان). كما ألّف نحو نصف دزّينة من الكتب، وكتب كذلك ثلاث مسرحيات عن الأمريكيين الأصليين حازت عدة جوائز. و«تاناباوم» هو مدير مركز تشاندرا للأشعة السينية، وعضو في الأكاديمية الوطنية للعلوم. وقد حاز جائزة روسّي Rossi في الفلك لعام 2004. وتتركّز أبحاثه على رصد النظم الثنائية بالأشعة السينية، ودراسة الكوازارات والمجرّات النشيطة، واستكشاف ودراسة المجرّات الساطعة الهادئة ضوئيا باستخدام الأشعة السينية. أما «فابيان» فهو أستاذ في جامعة كامبردج وعضو في الجمعية الملكية. وقد حاز جائزة روسّي عام 2001. وشارك في كتابة أكثر من 500 بحث علمي حول عناقيد المجرّات والثقوب السوداء الآخذة بالنمو في أحجام متنوعة.

مراجع للاستزادة

Black Holes and Time Warps. Kip Thorne. W. W. Norton, 1994.

Cooling Flows in Clusters of Galaxies. A. C. Fabian in *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, Vol. 32, pages 277-318; 1994.

A Deep Chandra Observation of the Perseus Cluster: Shocks and Ripples. A. C. Fabian et al. in *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 344, No. 3, pages L43-L47; September 2003. Available at **http://arxiv.org/abs/astro-ph/0306036**

Energy Input from Quasars Regulates the Growth and Activity of Black Holes and Their Host Galaxies. Tiziana Di Matteo, Volker Springel and Lars Hernquist in *Nature*, Vol. 433, pages 604-607; February 10, 2005. **arxiv.org/abs/astro-ph/0502199**

Magnetically Driven Jets in the Kerr Metric. J. Hawley and J. Krolik in *Astrophysical Journal*, Vol. 641, No. 1, Part 1, pages 103-116; April 10, 2006. **arxiv.org/abs/astro-ph/0512227**

For the latest from the Chandra and XMM-Newton orbiting observatories, see **http://chandra.harvard.edu** and **http://xmm.esac.esa.int/**

Scientific American, March 2007

Majallat AlOloom

المجلد 23 ـ العددان 10/9
سبتمبر/أكتوبر 2007



التابل المداوي(*)

هل يمكن لأحد مكونات الكاري curry أن يعالج الأمراض، من داء ألزايمر إلى السرطان؟

<G. ستكس>



يعطي الكُركُم Curcuma longa ريزومات (سوقًا أرضية درنية) وهي التي ينتج منها التابل الذي يأخذ الاسم نفسه.

كان للبحث عن أدوية جديدة من خلال تصفّح دساتير الأدوية الشعبية القديمة أو من خلال التقاط نبات في أثناء المشي في الغابات، قصة تاريخية متشعبة ومتداخلة على نحو كبير. فالعديد من المركبات العلاجية المعروفة جيدا كان مصدرها الأشجار والشجيرات **والرَّخويّات** mollusks وحتى التراب. لقد كان مصدر **الأسپرين** aspirin قلف أشجار الحور، ومصدر الأدوية الخافضة للكوليستيرول **ستاتنز** statins هو **عفن** mold ومصدر **الأرتيميزينين** artemisinin، الدواء المضاد للملاريا، هو شجيرة تستعمل في الطب الشعبي الصيني. والآن وبعد تخصيص 90 مليون دولار أمريكي في التسعينات في أكبر دعوة لعطاء مُعْلن من أجل استخلاص معلومات متوطنة شعبيا حول أدوية رائدة جديدة، فقد اضطرت شركة شامان للأدوية إلى تقليص تطلعاتها في البحث، حتى صار عملها ليس أكثر من بيع منتوجاتها **كمكملات** supplements غذائية قبل أن تُغلق أبوابها في النهاية منذ بضع سنوات.

أما الآن فإن نزعة البحث قد تعيد نفسها. فحديثا بدأ عدد من المركبات الطبيعية ـ مثل **ريزڤيراتول** resveratrol من النبيذ الأحمر والحموض الأمينية **أوميكا3** omega3 من زيت السمك ـ يلقى مزيدا من التفحص والتدقيق، لأن الأبحاث الأولية افترضت أن هذه المركبات الطبيعية قد تعالج بعض الأمراض وتمتعها بتكلفة زهيدة مع قليل من الأعراض الجانبية. وقد أُلحق **الكُرْكُم** Turmeric، وهو عبارة عن مسحوق أصفر-برتقالي من نبات آسيوي يسمى *Curcuma longa*، بقائمة هذه المركبات الطبيعية. وهو منذ زمن بعيد، لم يكن يستعمل إلا لإعطاء نكهة للطعام وحفظه من التلف.

وعلى سبيل المثال، ثمة فصل في كتاب سيصدر قريبا يصف المكوّنات الفعالة بيولوجيا للكُرْكُم ـ **الكُركومين** curcumin والمركبات القريبة منه التي تدعى **الكُركومينويدات** أو **شبيهات الكركومين** curcuminoids ـ بوصفها مكوّنات تمتلك خواص **مضادة للتأكسد** antioxidant **ومضادة للالتهاب** anti-inflammatory و**مضادة للڤيروسات** antiviral **ومضادة للبكتيرات** antibacterial **والفُطريات** antifungal، وذات فعالية محتملة ضد السرطان والسكري **والتهاب المفاصل** arthritis وداء **الزايمر** Alzheimer وأمراض مُزمنة أخرى. وقد ذُكر الكُركومين في عام 2005 في قرابة 300 ورقة علمية وتقْنية في بيانات المؤسسة PubMed التابعة للمكتبة الوطنية الطبية، وذلك مقارنة بنحو 100 ورقة علمية وتقنية نشرت في السنوات الخمس السابقة.

وقد انجذب العلماء الذين يدعون أنفسهم، مُزاحا، **بعلماء الكُركومين** curcuminologists إلى هذا المركب لسببين اثنين، هما تأثيراته القيّمة العديدة المحتملة في الجسم وسميّته المنخفضة ظاهريا. وقد انكبّ هؤلاء العلماء على التفكير في كيف يمكن أن يُستعمل هذا **التابل** spice أو مشتقاته، ليس فقط بوصفه علاجا، لكن بوصفه دواءً واقيا ذا تكلفة منخفضة لبعض العلل أو الأمراض الخطرة. وبوصفه علاجا، فإنه يمتلك أيضا خواصّ لافتة للنظر. وبسبب أن المسارات البيولوجية التي يستهدفها الكُرْكومين عديدة، فقد يكون له فوائد في معالجة السرطان: قد تتباطأ الخلايا الخبيثة باكتساب مقاومة تجاهه، وهكذا فإنها تضطر إلى الدخول في **طفرات**

(*) SPICE HEALER

mutations متعددة لتتجنب الهجمات المتكررة لهذا المركب.

ولكن هل هذا المركب (الكُرْكومين) قابل للاستعمال على نحو واسع؟ لقد قدَّمت بعض الأعمال أسبابا عديدة لأخذ الحذر. فقد أظهر أكثر من 1700 مرجع عن الكُرْكومين في المؤسسة PubMed كيف أن المركب الذي قد يؤثر في مسارات بيولوجية عديدة يمكنه أحيانا أن يؤثر في المكان الخطأ، وبهذا فإنه قد يساعد فعليا على تفاقم المرض.

تاريخ طبي طويل(*)

إن للكُرْكُم تاريخا طبيا يرجع إلى 5000 عام، فقد عُرف بأسماء عديدة، مثل *هالدي* في الهند و*جيانك هوانك* في الصين و*منجل* في التاميل. وفي ذلك الزمن كان الكركم دواءً أساسيا لالتئام الجروح وتنقية الدم ولعلل المعدة في النظام الأيورڤيدي الهندي.

وأول سجل في المؤسسة PubMed للبحث عن الفعالية البيولوجية للكُركومين يعود إلى عام 1970، عندما ذكرت مجموعة من الباحثين الهنود تأثيرات هذا المركب في مستويات **الكوليستيرول** cholesterol لدى الجرذان. وفي التسعينات تسارعت الدراسات؛ وكان أحد العلماء القادة <B. أكاروال> [وهو عالم سابق في مؤسسة جننتك Genentech] والذي قبْل أن يعود لدراسة الكُرْكومين قد سلك سلوكا آخر للبحث عن معالجات للسرطان، وقد قاده ذلك العمل على نحو غير مباشر إلى هذا المركب.

ففي الثمانينات كان <أكاروال> وفريقه في مؤسسة جَنِنْتك هم أول من قاموا بتنقية **جزيئين مناعيين** immune molecules مهمين ـ **عامل النَّخَر الورمي** tumor necrosis factor (TNF) ألفا وبيتا ـ وقد حُددت هويتهما على أنهما مركبان يمتلكان فعالية محتملة مضادة للسرطان. وفي الحقيقة، يستطيع هذان الجزيئان قتل الخلايا السرطانية عندما ينتشران في باحات محدَّدة: لكن عندما يتحركان على نحو واسع في مجرى الدم، فإنهما يكتسبان خواصّ مختلفة، حيث يؤثران بوصفهما **معززين فاعلين للسرطان** potent tumor promoters. وتُنشِّط عوامل النَّخَر الوَرَمي (TNFs) أحد البروتينات المهمة، العامل النووي كاپّا B، الذي يهاجم عندئذٍ حشدا من الجينات المنخرطة في الالتهاب وتكاثر الخلايا.

إن هذا الرابط بين الالتهاب والتكاثر غير المنضبط لخلايا السرطان قد شجع <أكاروال> على العودة إلى جذوره. ففي عام 1989 انتقل إلى مركز «M. D. أندرسون» للسرطان في جامعة تكساس، وبدأ البحث عن مركبات يمكن أن تلطِّف الالتهاب ولها تأثير مضاد للسرطان. متذكِّرا من طفولته في الهند أن الكُرْكُم كان أحد المركبات المضادة للالتهاب في الأدبيات الأيورڤيدية، فقرر إجراء التجارب على هذا التابل. وتذكَّر ما حدث «أخذنا بعضا منه من المطبخ ونثرناه على بعض الخلايا.» وقد دُهشنا؛ حيث **أحْصَرَ**(1) هذا التابل عامل النَّخَر الورمي(TNF) والعامل النووي كاپا B.

قام <أكاروال> بنشر دراسات تُظهر أن إحصار مسار العامل النووي كاپا B بوساطة الكُرْكومين يثبِّط **تنسُّخ** replication وانتشار أنماط متنوعة من الخلايا السرطانية. وقد مَثَّل هذا العمل نقطة انطلاق نحو التجارب السريرية (الإكلينيكية) الصغيرة الباكرة في مركز «M. D. أندرسون» باستخدام الكُرْكومين بوصفه دواء مساعدا على معالجة سرطان البنكرياس و**الورم النِّقْيِيّ** myeloma المتعدد. لقد بدأت التجارب، أو هي قيد البدء، في أمكنة أخرى من أجل الوقاية من سرطان **القولون** colon وداء **ألزايمر** Alzheimer وأمراض أخرى. وقد أظهرت دراسات باكرة على الخلايا أو على الحيوانات أن الكُرْكومين يمكن أن يؤثر في طيف من **الأمراض الالتهابية** inflammatory diseases، بما في ذلك التهاب البنكرياس والتهاب المفاصل وأمراض الأمعاء الالتهابية والتهاب القولون والتهاب المَعِدة وا **لأرجية** allergy و**الحمى** fever. وللكُرْكومين أيضا تأثير واعد في أمراض السُّكَّري و**المناعة الذاتية** autoimmune والأمراض **القلبية الوعائية** cardiovascular.

وحتى الآن تحتاج التجارب السريرية الكبيرة إلى أن تُجرى بهدف إثبات **النجاعة** efficacy ضد السرطان وأمراض أخرى. لكن <أكاروال> صار، مع ذلك، بطلا شرسا لأجل هذا التابل الذي أحضره <ڤاسكو داگاما> إلى أوروبا من رحلاته في الشرق. ولـ<أكاروال> فصل في كتاب جديد شارك في تحريره بعنوان «*الكُرْكومين: الذهب الخالص الهندي*».

لقد بدأ أيضا مركز <M. D. أندرسون> [وهو معهد عالمي رائد للسرطان] بترويج استعمال الكُرْكومين بأكثر مما يُتوقع لمعالجةٍ لم تندرج ضمن الشروط القاسية للتجارب السريرية الكاملة. ويوصي قسم **الأسئلة المطروحة على نحو متواتر** (FAQ)(2) في موقعه على شبكة الإنترنت بشراء الكُرْكومين من تاجر جُملة مُعيَّن، كان <أكاروال> يعمل لحساب هذا التاجر.

ويفترض القسم (FAQ) أن مرضى السرطان يتناولون جرعة يومية تتزايد باطراد لتصل إلى جرعة مقدارها ثمانية غرامات كل يوم، أي أكثر بـ 40 مرة من المقدار المستهلك في معدل النظام الغذائي الهندي. وبعكس ذلك فإن معظم الشركات الصيدلانية توزعه بجرعات تقدر بالميلغرامات. وقد أكد الموقع على شبكة الإنترنت أنه «مع نهاية الثمانية الأسابيع الأولى، من المتوقع أن يكون هناك تحسن مهم.» وعندما سُئل <أكاروال> فيما إذا كان قلقا حول إمكان ظهور أية أعراض جانبية عند تناول جرعة يومية مكونة من ثمانية غرامات أجاب بأن بعض التجارب السريرية الصغيرة في معاهد أبحاث أخرى قد حددت جرعة تصل إلى 12 غرامًا وأن المرضى كانوا يبلغونه فيما لو حدثت أية تأثيرات معاكسة ناجمة عن الجرعة المنصوح بها من قبل مركز «M. D. أندرسون». والباحث، الذي يتناول حبة كُرْكومين يوميا، لا يأخذ بعين الاعتبار التحذير النموذجي للباحثين الذي يطلقونه قبل إجراء تجارب سريرية على نطاق واسع وذات شواهد حاكمة جيدة. وقال <أكاروال>: يأخذ الناس كمية كبيرة من **المكملات** supplements الأخرى، ولا أظن أنك بحاجة إلى أي شيء آخر بعد ذلك.

هل يحرِّض الكُرْكومين السرطان؟(**)

إن تعليقات القسم FAQ التابع لمركز «M. D. أندرسون» وسيل التعليقات الصحفية التي تطلقها معاهد متنوعة حول أعاجيب الكُرْكومين يتجاهلان قسما صغيرا من الأدبيات الطبية الذي يشير إلى جانب مُظلم، هو: إمكانية أن يعزز هذا التابل بقاء الخلايا

Long Medical History (*)
(1) blocked أوقف.
Does Curcumin Abet Cancer? (**)
frequently asked questions (2)

دراسات حديثة تُظهر فوائد محتملة للكُركُومين ...(*)

الحالة المرضية	الاكتشافات	اسم المعهد	النشرة
التهاب المفاصل الروماتويدي	إن خُلاصة جذر الكُركُم تثبّط التهاب المفصل وتلفه في الجرذان.	University of Arizona College of Medicine	*Arthritis and Rheumatism*, November 2006
داء الزايمر	أظهرت الدراسات في أنابيب الاختبار أن الكُركومين قد ساعد الخلايا المناعية التي تدرك مكونات لويحات الزايمر Alzheimer's plaques.	U.C.L.A. and the Veterans Administration	*Journal of Alzheimer's Disease*, October 9, 2006
سرطان القولون	في مزارع الخلايا، أحصر الكُركومين نشاط أحد الهرمونات المرتبط بتنامي سرطان القولون.	University of Texas Medical Branch at Galveston	*Clinical Cancer Research*, September 15, 2006
سلائل قولونية مستقيمية colorectal polyps	إن توليفة مكونة من الكُركومين والمكوّن النباتي الكويرسيتين quercetin قد خفضت حجم وعدد تخربات ما قبل السرطان عند خمسة من المرضى.	Johns Hopkins University and Cleveland Clinic	*Clinical Gastroenerology and Hepatology*, August 2006
اختلال الاستعراف cognitive impairment	أكثر من 1000 شخص مُعمّر من سنغافورة وهم الذين يُعرف عنهم بأنهم يأكلون الكاري curry من آن إلى آخر على الأقل قد أحرزوا نقاطا أكثر من أولئك الذين نادرا ما يأكلون الكاري أو لم يأكلوه قط. ويمكن أن يُعزى هذا التأثير إلى الكُركومين.	National University of Singapore and other institutions	*American Journal of Epidemiology*, November 1, 2006

السرطانية. وفي عام 2004 كان <Y. شاؤول> [في قسم **الوراثة الجزيئية** molecular genetics في معهد وايزمان للعلوم] يدرس الإنزيم NQO1 الذي ينظّم المستوى الكمي لأحد البروتينات المعروفة جيدا والذي يدعى البروتين p53. فعندما تزداد مستويات البروتين p53 في الخلايا، يقوم هذا البروتين بمناورة دفاعية عن الكائن الحي عبر تحريض الخلايا السرطانية أو المعطوبة لكي توقف الانقسام أو حتى تقتل نفسها.

ووجد <شاؤول> وزملاؤه أن أحد مضادات التخثر، ديكومارول dicoumarol، والمركبات المشتقة منه تُحصر الإنزيم NQO1، وهذا يمنع البروتين p53 من القيام بعمله. وقد تساءل الباحثون ماذا يمكن أن يحدث إذا عرَّضوا البروتين p53 في خلايا سوية وخلايا ابيضاض الدم **النَّقْيِيَّة** myeloid إلى **مضادات التأكسد** antioxidants، مثل الكُرْكُومين والريزڤيراترول. ومما سبب دهشتهم، أن الكُرْكومين، من خلال تثبيط الإنزيم نفسه، قد أوقف البروتين p53 عن إعدام الخلايا الزائغة (الشاذة). وقد تم الإعلان عن هذا الاكتشاف في عام 2005 في وقائع أعمال الأكاديمية الوطنية للعلوم بالولايات المتحدة الأمريكية. وقد نشر بعض الباحثين الآخرين نتائج مشابهة. وأجاب <أگاروال> عن ذلك من خلال الإشارة إلى دراسات أظهرت العكس تماما، أي إن الكُرْكومين في الحقيقة ينشط البروتين p53.

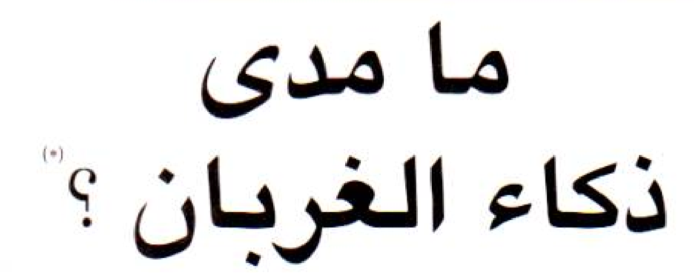
أما الآن فيجب على الباحثين السريريين (الإكلينيكيين) أن ينكبّوا على دراسة ما إذا كان عمل <شاؤول> في مزارع الخلايا يرتبط بما يحدث عندما يتناول الإنسان هذا المركب. إن مستويات تركيز الكُرْكومين المستعملة من قبل فريق معهد وايزمان في مزارع الخلايا - ذات التركيز من 10 إلى 60 ميكرومول (μM) - تعدّ مماثلة، إلى حد ما، للمستويات التي تم التوصل إليها في بعض تجارب أنابيب الاختبار التي أجريت من قبل مركز «M .D. أندرسون». ولكن بسبب أن الكُرْكومين يُمتص من الأمعاء إلى مجرى الدم على نحو ضعيف وكذلك بسبب أنه يتخرب بسرعة في الجسم. فعندما يستهلك مريض ثمانية غرامات من الكُرْكومين لن يبقى في بلازما دمه أكثر من 2.0 ميكرومول (μM)، بحسب ما ذكر <شاؤول>، مع أن ذلك التركيز يمكن أن يكون أعلى في الجهاز المعدي المعوي وفي الكبد. ومن الممكن أن يبقى مرتفعا أيضا إذا طوَّر الباحثون وسائل متنوعة لزيادة تركيز الكُرْكومين في مجرى الدم.

إن القسم FAQ يمكن أن ينقل الانطباع عن مدى الثقة في وصف جرعة من ثمانية غرامات. لكن الوجود المنخفض للكُرْكومين في الدم - ومن ثم الحاجة إلى رفع الكمية المستهلكة منه إذا كانت هذه المادة تكافح المرض - هو تحدٍ سوف يستمر يناكد الباحثين. وعموما استخدمت الدراساتُ المجراة على الحيوانات، التي ذكرها الباحثون بوصفها دراسات موحية لفوائد الكُرْكومين المتنوعة، أقلَّ من ثمانية غرامات على البشر، وكانت مستويات تركيز الكُرْكومين في الدم تقع عادة في مجال النانومول. وقد ذكر <شاؤول> «نحن لا نعرف كيف نفسر أن مثل تراكيز الكُرْكومين المنخفضة هذه يمكن أن تكون ذات فائدة على الحيوانات التي جرى عليها الاختبار.»

إن الجُرعة هي كل شيء بالنسبة إلى كل دواء جديد - فكل دواء علاجي، بما في ذلك الأسپرين، يصبح ساما في مستويات تراكيز عالية. وبالنسبة إلى معظم الأدوية الجديدة، فإن الجرعة الأفضل لبلوغ مستويات التركيز المرغوبة في بلازما الدم تُحدَّد عادة في جولات التجارب **قبل السريرية** preclinical في مزارع الخلايا وفي الفئران. وحاليا لا تصارع شركات الأدوية إحداها الأخرى لكي تكون الأولى في إجراء هذه الاختبارات على الكُرْكومين. فلدى هذه الشركات أفضلية للحصول على أدوية علاجية ذات أهداف رفيعة المستوى: مهاجمة أحد **المُستَقْبِلات النوعية** specific receptor؛ ومن ثم، إمكانية معالجة المرض مع إنقاص الأعراض الجانبية، مع أن كل دواء له تأثيرات متعددة يمكنه، نظريا، زيادة فرصة حدوث أحد الأعراض غير المرغوب فيها. وثمة سبب آخر، هو المسألة المثيرة للجدل لحقوق ملكية الأدوية الشعبية.

والكُرْكُم ثمرة مُلصق إعلاني لإحدى كبرى حالات الملكية الفكرية

(*) Recent Studies Show Possible Benefits from Curcumin...



تُظهر التجارب الحديثة أن هذه الطيور تستخدم المنطق لحل مشكلاتها وأن بعض قدراتها يقارب، بل قد يفوق، قدرات القردة العليا.

<B. هاينرش> ـ <T. بكنيار>

قناص في الغابات الشمالية يشاهد غرابا **شائعا**[1] (*كورڤاس كوراكس* *Corvus corax*)، وهو يتقلب على ظهره ورجلاه مرفوعتان في الهواء بجانب جثة قندس فوق الثلوج. ودارس للأحياء يتسلق، بعناء، أحد المنحدرات ليقوم بتركيب **حلَق**[2] في أرجل أفراخ غرابين ويقوم أبواهما بإمطاره من أعلى بالصخور. وغراب وحيد ينعق بصوت مرتفع بالقرب من كوخ منعزل محذرا رجلا بالقرب منه لكي ينظر إلى أعلى ويلحظ سبُعا مختبئا على وشك أن يقفز عليه.

وكل من هؤلاء الأشخاص الثلاثة يفترض أنه كان يعرف ماذا أرادت الغربان. فالقناص ظن أن الغراب يتماوت متظاهرا بأنه قد تسمم لكي يبعد الغربان الأخرى حتى

(*) JUST HOW SMART ARE RAVENS?

(١) يسمى في بلادنا «الغراب الأسحم» أو «الغراب النوحي».

(٢) يركب علماء الطيور حلقات معدنية مرقمة في أرجل الطيور، لدراسة سلوكها ومتابعة تحركاتها. (التحرير)

نظرة إجمالية/ ذكاء الغربان(*)

- مع أن السلوك الذكي للغربان يقنع معظم الناس أن الطيور ذكية، فإن ذلك لا يبرهن على أنها تستطيع بوعي كامل تأمل بدائل اختيار الأفضل من بينها.
- وللبت في ذلك قام المؤلفان بتصميم سلسلة من التجارب التي اشتملت على جذب لحم مربوط بخيط إلى أعلى، وإخفاء الطعام عن المتنافسين.
- لقد وجدا أن الغربان تستطيع استخدام المنطق لحل بعض المشكلات، وأنها تستطيع تمييز الأفراد (من البشر والغربان الأخرى) ونسبة معلومات معينة إلى هؤلاء الأفراد.

يستحوذ على جثة القندس لنفسه. ودارس الأحياء ظن أن زوج الغربان كانا يتعمدان محاولة إصابته بالصخور لكي يذهب بعيدا. أما الرجل عند الكوخ المنعزل فقد ظن أن الغراب يحذره لينقذ حياته.

ولا يمكن استبعاد هذه الفرضيات المختلفة ورفضها، ولكن معظمنا ممن لهم صلة وثيقة بالغربان قد يقدمون تفسيرات أخرى أكثر احتمالا. فلعل الغربان أكثر الطيور حبا للعب، ويبدو أن من عادتها أن تتقلب على ظهورها لمجرد اللهو والتمتع بذلك. وهي غالبا ما تدق الأرضية في غضب أينما جثمت، عندما يكون هناك حيوان مفترس قرب عشها. وهي معروفة بأنها ترشد اللواحم (الحيوانات الآكلة للحوم) إلى فريسة محتملة لا يمكنها هي أن تتغلب عليها، ولذا فإن الغراب قد يكون مستهدفا إرشاد السبع إلى ذلك الرجل.

إن الحكايات حول الغربان عديدة، ويوحي كثير منها بأن هذه الطيور ذكية، ولكن القصص لا تعطي برهانا على وجود مَلَكة شريرة لديها، أو حتى صور السلوك المعقد للغربان ذات المعالم الأكثر وضوحا - مثل عادتها في نحت كتلة من الشحم إلى قطع صغيرة يصبح حملها ممكنا، أو قيامها برص رقائق البسكويت الجاف بعضها فوق بعض على نحو يساعدها على الطيران بالرصة كلها، أو معالجتها لكعكتين بطريقة تمكنها من حملهما معا في الوقت نفسه، أو قيامها بعمل مخابئ كاذبة للطعام لخداع المغيرين. جميع تلك الأعمال لا تبرهن على أن هذه الطيور قادرة على أن تتفحص بوعي الأفعال البديلة وأن تختار الأنسب من بينها.

وعلى أية حال، فمجرد المشاهدات لا يمكن أن تلغي احتمالات أخرى، مثل الغريزة أو تعلم تأدية أفعال محفوظة محددة من دون إدراك حقيقي. وفي الواقع، حتى تسعينات القرن الماضي، ربما لم يكن هناك سوى اختبار علمي دقيق واحد انطوى على وجود تفكير منطقي لدى الغربان من الطراز الذي نسلم بوجوده لدى البشر. لقد كان هذا الاختبار مجموعة من التجارب التي نشرها عام 1943 <O. كوهلر> [من معهد كونسبرگ لعلم الحيوان]. لقد أوضح أن غرابه البالغ من العمر عشر سنوات، والمسمى جاكوب، يستطيع العد حتى رقم سبعة، وذلك بتدريبه على استعادة الطعام من تحت واحد من بين عدة أوعية على أغطيتها بقع بأعداد مختلفة. ولكن الدراسات التي أجريت في السنوات القليلة الماضية - ومعظمها أجريناه نحن معا - قدمت في النهاية براهين ثابتة على أن الغربان ذكية حقا، بمعنى أنها قادرة على استخدام المنطق في حل المشكلات التي تواجهها. والأكثر من ذلك أننا وجدنا - لدهشتنا - أنها تستطيع حتى تمييز فرد من آخر. وفي هذا أيضا هي تشبه البشر كثيرا، فنحن لا نستطيع بناء مجتمعات (فيما عدا تلك التي تشبه مجتمعات الحشرات) دون هذه المقدرة.

برهان على القدرة على حل المشكلات(**)

ليست الغربان هي الطيور الوحيدة التي تشتهر عادة بالذكاء، فعلى مدى العقدين الأخيرين أوضحت كمية هائلة من الأبحاث أن أقارب معينين للغربان السُّحم (منها: الغربان الصغيرة الأحجام، وكذلك **أبو زريق** Jays و**العقعق** Magpies و**كاسر الجوز** Nutcrackers) لها قدرات ذهنية محنكة مثيرة للدهشة. وتبدو هذه القدرات في بعض الأنواع مساوية لتلك التي تحوزها القردة العليا أو تفوقها. فعلى سبيل المثال، كاسرات الجوز لها ذاكرات خارقة تستوعب آلافا من مواقع مخابئ الغذاء، وهي قدرة تتحدى معظم الأفراد من البشر. وقد وجد أن غراب **كاليدونيا الجديدة** *Corvus moneduloides* يقوم بتشكيل أدوات من أوراق نبات الكاذي أو **الصنوبر الحلزوني** pandanus ويستخدمها لالتقاط اليرقات من بين شقوق الخشب. على أن الذي لم يُعرف بعد هو إلى أي حد

(*) Overview/ Raven Intelligence
(**) Proof of Problem Solving

تتضمن مثل هذه الأعمال الفذة برمجة ذاتية عمياء مقابل **تعلم بالحفظ عن ظهر قلب**(1) وذاكرة (من خلال تجارب سابقة من المحاولة والخطأ) مقابل **تفكير** reasoning (الاختيار من بين بدائل تستحضر في الذهن ويجري تقييمها).

وقد قمنا (كاتبا المقالة) بابتكار تجارب لإيضاح دور هذه الاحتمالات وأهميتها النسبية. في أول هذه الاختبارات جابهنا الغربان فُرادَى بطعام معلق بخيط. وللحصول على الطعام المقدم، عليها أن تصل إلى الخيط المتدلي تحتها من المجثم، وتمسك الخيط بمنقارها، وتجذب الخيط إلى أعلى، وتضع أنشوطة الخيط الذي جذبته على المجثم، وتقف فوق الخيط، وتقوم بالضغط عليه بالقدر المناسب الذي يمنع الخيط من الانزلاق، ثم تترك بقية الخيط، ثم تنحني لتمسك بالخيط المتدلي ثانية، وتكرر هذا التتابع ست مرات متتالية أو أكثر.

لقد وجدنا أن بعض الطيور اليافعة، على الأقل، تقوم بفحص الموقف حتى نهايته لدقائق، ثم تقوم بتنفيذ هذا الإجراء المتعدد الخطوات في أول محاولة لها في زمن ضئيل يبلغ 30 ثانية دون أية جهود أولية للمحاولة والخطأ. وفي «التشكيل» التقليدي للسلوك في حيوانات المختبر تُجزَى الخطوات المتتابعة للسلوك المطلوب - بشكل نموذجي - بالطعام، في حين يُعاقب على الخطوات غير الصحيحة بصدمة كهربائية. ويفترض أن يجري ترابط تتابع دون حاجة الحيوان إلى تفهم كيف تسهم أية خطوة معينة منها في النتيجة النهائية. على أن حيواناتنا لا تواجه هذا الموقف في الحياة البرية، وعلى ذلك فإنها لم تتعلم من قبل كيف تقوم به عن طريق التجربة والخطأ. وعلى ذلك فإن أبسط اقتراح هو أنها تتخيل الإمكانات، ثم تتصور أي الخطوات عليها أن تجريها.

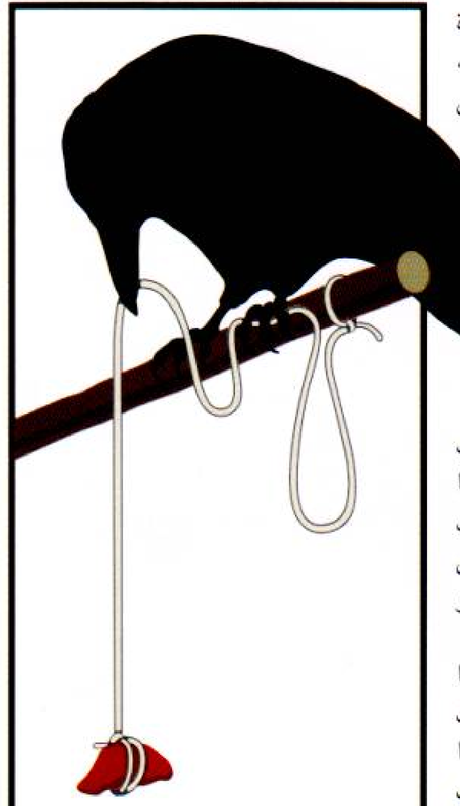
ومن المؤكد أن اجتياز الاختبار يحتاج إلى النضج، فالطيور الصغيرة (بعد شهر أو شهرين من ظهور الريش) غير قادرة على أن تقوم بهذا السلوك المعقد. وتحتاج الطيور، البالغ عمرها عاما واحدًا، إلى ست دقائق في المتوسط لتَحُلَّ الإشكالية وتختبر خلالها بوضوح الإمكانات المختلفة (مثل الطيران نحو الطعام ومحاولة تمزيق الخيط والإمساك به أو نزعه أو ليِّه).

ولم تعط جائزة الطعام نظير أية خطوة واحدة في منظومة الخطوات المتتابعة لجذبه، فعلى الغراب أن يُتِم كل التتابع الطويل حتى يأكل. إلا أن أحدا قد يجادل بالقول بأن كل خطوة تحصل على جائزة ذهنية ومن ثم تعزز، وذلك ببساطة لأن الطعام قد يصبح أقرب، وأن الحيوان لا يعرف بالضرورة أن كل خطوة في التتابع تجعله أقرب إلى هدفه. ولكن هذا التفسير لا يصمد أمام النقد، ذلك أنه إذا ما كانت كل خطوة تُكتسب بالتعلم بالمحاولة والخطأ لكان الأمر محتاجا إلى محاولات عديدة، ولأخذ تتابع الجذب الكامل ربما شهورا من التدريب؛ ولكن ليس ذلك هو ما حدث، فالطيور كانت تعمل كما لو كانت تعرف ما تفعله.

ولكن لم يكن بوسعنا أن نعرف أنها تعرف إلا إذا ما تصرفت حسب توقعات معينة. فعلى سبيل المثال، إن الغربان إذا كانت تعرف ما تقوم به فإنها عندئذ يجب أيضا أن تعرف ما الذي فعلته. فمثلا كان عليها أن تعرف أن الخيط ظل بعد أن جذبت الطعام المربوط به متصلا بالمجثم. ولبيان إذا ما كانت قد فهمت، قمنا بإبعادها عن المجثم بعد أن قامت بجذب اللحم: فإذا ما أسقطت قطعة اللحم؛ فهمنا أنها كانت تعرف أنها معلقة بالمجثم، أما إذا طارت بها (ثم وجدت أنها تنتزع من مناقيرها) فإنها تكون لا تعرف. إن معظمها كان يلقي باللحم ولكنها كانت دائما تطير باللحم المربوط بخيط موضوع (وليس مربوطا) على المجثم.

لا تحتاج المعرفة إلى محاولات أو هي تحتاج إلى قليل منها، بينما التعلم بالمحاولة والخطأ لا يحتاج إلى منطق. ولذا بحثنا عن اختبار آخر لمعرفة ما إذا كانت الطيور قد حلت تحدي جذب اللحم بحركات عشوائية حدث أن كانت مُجزية، ولكنها لم تكن مدعومة بالمنطق. ففي هذه المرة جابهنا الطيور غير الخبيرة بالخيارات البدنية ذاتها ولكن بما أملنا أن يكون بالنسبة إليها موقفا غير منطقي، وهو خيط ذو أنشوطة يجب جذبه إلى أسفل لكي يرتفع بالطعام إلى أعلى.

وفي هذا الموقف ظلت الغربان راغبة في الطعام. لقد درست الموقف ثم أخذت تلتقط الحبل بمناقيرها وتجذبه، وبذا تجعله يصبح أحيانا أقرب قليلا، إلا أنها سرعان ما كَفَّت



للحصول على طعام معلق بحبل مربوط على مجثم، على الغراب أن يتبع تتابعا معينا من الخطوات: يدلي برأسه إلى أسفل ثم يمسك بالخيط ويرفعه، ثم يضع الخيط المرفوع على المجثم، ويقف ضاغطا عليه حتى يمسك به في مكانه، ثم يترك المنقار الحبل... وتكرر العملية. بعض الغربان اليافعة قامت بدراسة الموقف لعدة دقائق ثم نفذت الخطوات جميعها من محاولتها الأولى. وهذا دليل على أنها استخدمت المنطق في ذلك.

عن ذلك ولم يتعلم أحد منها كيفية الوصول إلى الطعام، مع أن تتابع الجذب والتثبيت والارخاء الذي كانت تحضر به الطعام بسرعة من قبل كان من المستطاع أن يأتي به ثانية. ولذلك نحن نعتقد أن الجذب المباشر إلى أعلى قد أُتْقِن سريعا، بل أحيانا على الفور تقريبا، ولم يكن ذلك إلا بسبب أنه كان مدعوما بالمنطق. ومن الواضح أن الغربان لديها القدرة على اختبار الأفعال في أذهانها وأن تتبين عوائد هذه الأفعال. وهذه الكفاءة ربما تكون غير موجودة، أو موجودة إلى حد محدود فقط، في معظم الحيوانات، ولعلة تكيفية جيدة.

(1) rote learning

فوائد الذكاء[*]

ثمة سلوكيات دقيقة رائعة يمكن برمجتها وراثيا في حيوانات لها أدمغة ليست أكبر من رأس الدبوس، وذلك عن طريق عملية تظل حتى الآن واحدا من أسرار البيولوجيا الكبيرة التي لم نهتد إلى حلها. خذ مثلا الزنبار الذي يصنع الورق بخبرة منذ أول أيام وجوده والذي يقوم بتصميم عش ذي بناء دقيق من هذا الورق، في حين يستخدم زنبار آخر الطين ليصنع عشا على صورة هاون، بشكل مختلف تماما ولكنه أيضا ذو خصوصية بالغة. وبالمثل فإن طيور كل نوع مبرمجة لبناء أعشاش محددة الأشكال سلفا بدقة. فجميع **خطاطيف الأجران** barn swallows الآكلة للحبوب تبني عشا على هيئة رف من الطين يتصلب عند جفافه، في حين تنشئ **خطاطيف الأجراف** cliff swallows أعشاشا من الطين تشبه الأفران أيضا، ولكن بفتحة مدخل صغيرة مستديرة.

وليس بين هذه السلوكيات الأكثر تعقيدا ما يُتعلَّم، كما أنه ليس بينها ما يعتمد على التفكير (مع أن التعلم والتفكير يمكن أن يعدِّلا بعض السلوك المبرمج وراثيا). إن التفكير والمنطق لهما سمعة سيئة بأنه قد لا يمكن الاعتماد عليهما، ويمكن أن يؤديا إلى كثير من الضرر كما نعلم جميعا حق العلم. والسؤال الكبير عندئذ هو: إذا كان السلوك مبرمجا سلفا بدقة هكذا، فلماذا بعض الحيوانات (نحن أنفسنا على سبيل المثال) تكون مهيأة للتخبط والخطأ؟ لماذا هي غير مفطورة، مثل معظم الحيوانات، على أن تفعل الأشياء على وجهها الصحيح، ما عدا ربما بعد تجربة الأشياء العديدة التي يمكن أن تؤدي إلى أخطاء مهلكة؟

إن الإجابة المعتادة هي أن هذه الحيوانات نشأت في بيئة معقدة لا يمكن التنبؤ بما سوف يقع فيها، وحيث تكون فيها الاستجابات الجاهزة غير مناسبة. فإذا كان بإمكان الحيوان تحديد أفراد، ويعيش بين آخرين يستطيعون بدورهم تعرّفه كذات مستقلة، عندئذ فإن البيئة ستصبح لكل منها معقدة حقا. وكثيرا ما يشار إلى الحياة الاجتماعية بين معظم الحيوانات التي يمكنها تمييز الأفراد بأنها القوة الدافعة لتطور الذكاء. وفي هذا السياق فإن القدرة على توقع استجابات الآخرين ـ الذين يكونون الملمح الرئيسي المهم للبيئة ـ تصبح قيمة للغاية؛ الأمر الذي قادنا إلى أن نأخذ في الاعتبار البيئة الاجتماعية للغربان لمحاولة فهم لماذا هي ـ أكثر من العديد من الحيوانات الأخرى ـ استفادت من كونها ذكية.

عند مجابهة الغربان بأن عليها أن تسحب الخيط إلى أسفل ليأتي الطعام إلى أعلى، بدا أن الغربان غير المجربة (تلك التي لم تجرب سحب الطعام المربوط بالخيط إلى الأعلى)، تعتقد أن الجذب إلى أسفل لجعل شيء يتحرك إلى أعلى هو عمل غير منطقي، وسرعان ما تتوقف (الشبكة السلكية منعت الطيور من سحب الخيط إلى الأعلى).

البيئة الطبيعية للغراب[**]

إن معظم التاريخ الطبيعي للغربان يدل على أنه كان عليها أن تتطور على نحو يجعلها قادرة على التواؤم مع ظروف قصيرة الأمد دائبة التغير. فهذه الطيور انتهازية بشكل أساسي، بمعنى أنها تقوم ببعض الصيد ولكنها متخصصة في أن تعيش على ما تقتله حيوانات أخرى. إلا أن الحيوانات المفترسة التي تمدها بالغذاء لا يمكن توقُّع أفعالها، ويمكن أيضا أن تقتلها. وقد يبدو تكوين الأفعال الشرطية من خلال المحاولة والخطأ في وقت طويل أمرا باهظ التكلفة، لأن أول خطأ يحدث يمكن أن يكلف الطيور حياتها، كما أن استجابة مبرمجة كليا لأكل لحوم لا يمكن التنبؤ بتصرفاته يمكن أن تكون خطيرة بالقدر نفسه.

كذلك تحتاج الطريقة التي تتنافس بها الغربان مع غربان أخرى من أجل الحصول على الطعام إلى التعامل مع ظروف دائمة التغير. وتحاول أزواج من الغربان المتاقلمة المحتلة للمنطقة أن تستأثر بمنجم الطعام، وتتخذ أعدادٌ من التجمع الكبير من صغار الغربان وأفرادها غير المتزاوجة خطة مضادة لحشد قطعان من الأزواج تفوق قوتها قوة المدافعين المتاقلمين. على أنه من الأمور ذات المغزى أن السلوك الذي يجعل هذه الحشود تجد طريقها إلى الطعام ويخفف من خطورة أعدادها، هو نفسه الذي يزيد من حدة التنافس على الموارد.

وفي الغالب، تستهلك اللواحم بسرعة جميع ما تفترسه. فمن المهم أن تحظى الغربان الموجودة بقرب هذه اللواحم بالقدرة على الشروع في مشاركة مبكرة في دورة الاغتذاء، بل الأفضل أن يكون ذلك مصاحبا للواحم وهي لاتزال تأكل من الفريسة. وكي تفعل ذلك تحتاج الطيور إلى أن تكون قادرة على التنبؤ بسلوك الحيوان المفترس، مثل ما إذا كان الحيوان سيقوم بالهجوم، ومتى سيكون ذلك، وإلى أي حد يمكن أن يقفز، وكيف يمكن تشتيت انتباهه. إن بعضا من هذه المعلومات ينبغي أن يكون واضحا قبل أن ينشغل الغراب بالغذاء، ذلك أن التجربة المطروحة يمكن أن تكون قاتلة.

وبكل تأكيد، ينبغي أن تكتسب الطيور الخبرة في أمان في وقت باكر من حياتها. إن صغار الطيور، عندما لا تكون مشغولة بالغذاء

(*) The Benefits of Intelligence

(**) The Natural Environment of the Raven

تقوم روتينيا «باختبار» ردود أفعال الحيوانات الكبيرة (مثل الذئاب واللواحم الأخرى) بالتفاعل معها: عادة بأن تحط بالقرب منها، ثم تقوم بنقر مؤخراتها. ومن غير المحتمل أن يكون هذا السلوك متعمدا تكتيكيا، فالأكثر احتمالا أنه لون من «اللعب» تعرِّفه المراجع العلمية المعتبرة في هذا الموضوع على أنه سلوك ليس له وظيفة مفهومة في الحال، ولكن تكون له، بصفة عامة، وظيفة غائبة آجلة، فهو سلوك غير مقصود بوعي، ولكن تثبت فائدته على أية حال.

حتى الصغار تدرك أن نقر آكلات اللحوم عمل خطير (فهي تبدو خائفة عندما تقوم به)، ولهذا لا بد أن تكون مفطورة غريزيا عليه، لأن ممارسة الصغار لهذه اللعبة الخطيرة تساعد في النهاية على **البقيا** survival، وذلك بمنحها الخبرة في تقدير إلى أي حد تحوم حول رفاقها من آكلات اللحوم. وعن طريق هذا الاستفزاز تتعلم الصغار سريعا أي الحيوانات تثق فيها، ومقدار المسافات اللازمة للأمان. وعلى الجانب الآخر، إن وجود الغربان الدائم تقريبا حول آكلات اللحوم يعوِّد الحيوانات الأكبر على الطيور فتتعلم بالتدريج تجاهلها. ولكن تعلم كيفية التعامل مع آكلات اللحوم الخطيرة ليس إلا وسيلة تؤدي في النهاية إلى إيجاد طريق لمصدر غني بالطعام.

وفي معظم الأحوال يكون الوقت الذي يبقى فيه منجم الطعام قصيرا (جثث الأيائل في غابات «مين»، على سبيل المثال، تُستَهلك في يوم أو يومين)، وهذا يوجب نقل الطعام بعيدا أولا ثم أكله فيما بعد.

ومثل سائر **الغرابيات** corvids تقوم الغربان الشائعة بنقل الطعام للاستخدام فيما بعد. وعند توافر جثة موضع صراع تقوم الغربان بنقلها بحماس ـ كتلة من اللحم وراء أخرى ـ وتخفيها بدفنها وتمويهها بفتات الحصى حتى تختفي تماما عن النظر. ومثل كثير من الغرابيات الأخرى أيضا، تتذكر الغربان مواقع خبيئاتها المتعددة بالضبط، وعادة ما تستعيدها في خلال ساعات أو أيام، إلا أنها، على عكس معظم الطيور الخابئة للطعام، تراقب بعناية سلوك الإخفاء لمنافسيها وتتذكر المواقع بالضبط، ليس لمخابئها فقط، بل أيضا للمخابئ التي رأت الحيوانات الأخرى تصنعها.

اللعب بالطعام وإخفاؤه(*)

بعد إدراكنا أن اللعب مع المفترسات يساعد الغربان على كيفية تقدير المواقف ثم التصرف وفقا لذلك، فقد عزمنا على أن نختبر ما إذا كان اللعب يساعد صغار الطيور حقيقة على اكتساب القدرة على ضبط سلوكها بمرونة. إن سلوك تخبئة الطعام قدم حقلا واعدا لهذه الدراسة، كما أن مَرْبى الطيور الكبير، الذي صممناه ليحاكي الظروف الطبيعية من أشجار وكساء أرضي، يمثل إطارا مناسبا للتجارب.

لقد وجدنا ـ كما رأينا من قبل ـ أن الغربان يتجنب كل منها الآخر في أثناء إخفاء الطعام، فهي تفضل أن تقوم بعمل المخابئ في خصوصية، أو تستخدم الأشجار أو الصخور لسد طريق الرؤية على الآخرين. كما أن أصحاب الخبيئة يحاولون إبعاد اللصوص المحتملين. وقد اكتشفنا أن مهارات التخبئة هذه تنبع من استجابات ذاتية تحرض هؤلاء الرفاق على القيام برد الفعل، ومن ثم تسمح بتعلم الاستجابات المناسبة. وهذه العملية الاختبارية والتعلمية تبدأ بين الإخوة الصغار بعد فترة وجيزة من تركها العش والبدء باتباع آبائها وتعلُّم كيف تتعرف التنوع الكبير للأشياء الغذائية الصغيرة مثل الحشرات والفواكه.

تدأب الغربان الصغيرة، وهي داخل العش ولبضعة أيام خارجه، على الإمساك بجميع طرز الأشياء بمناقيرها، كقرص أذناب الذئاب، ويعد هذا السلوك لعبا حيث إنه لا يجلب فوائد قريبة إلا أنه يتطلب بذل الوقت والطاقة أو التعرض للمخاطر. وفي الحقيقة، هذه الأشياء هي «لُعب». وفي تجارب على فقسة غربان مستأنسة، قام أحدنا بدور الأب وأخذ يرشد الطيور يوميا إلى التجول هنا وهناك. وكانت الصغار تشغل أنفسها بالتقاط الأغصان الصغيرة والأوراق والزهور ومخاريط الصنوبر والحصى وأعقاب السجائر وقطع العملة وأشياء أخرى نثرناها على الأرض. وخلال أيام تجاهلت الغربان الصغيرة الأشياء غير المأكولة إلى حد كبير، وبحثت بلهفة عما يؤكل. وقد أعطاها الإمساك بالأشياء من خلال اللعب الخبرة بتعلم شؤون بيئتها. وحيث إن الغربان عادة لاتزال تُطْعَم عن طريق آبائها في هذه الفترة، فإنها تملك الوقت لممارسة سلوك يبدو عديم



تتحرك الغربان البالغة ـ والتي تمتد المسافة بين جناحيها إلى 1.25 متر وتزن نحو 1.25 كيلوغرام ـ فوق حيوان صادته الذئاب حديثا في «يلوستون ناشونال بارك». ويعتقد المؤلفان أن سلوك اللعب عند صغار الغربان يعلّمها كيف تتعامل مع لواحم أكبر كثيرا منها في الحجم، وهي التي تعتمد عليها في الكثير من طعامها.

الجدوى في الظاهر، ولن تتضح فوائده إلا في وقت لاحق.

وفي أثناء تعلم الطيور الصغيرة التمييز بين المأكول وغير المأكول، كانت في الوقت نفسه، تزيد وتشكل مهارات التخبئة لديها. فهي في البداية تدس، دون تمييز، بعض الأشياء التي تلفت نظرها وسط أشياء أخرى. وبعد ذلك تدفعها بعيدا جزئيا عن الأنظار في شقوق. وفي غضون شهر أو شهرين تقوم الصغار، التي مازالت لا تعتمد على أنفسها، بتغطية الأشياء التي التقطتها بالحطام. ولأن هذه الصغار عادة ما تخبئ الأشياء أمام إخوتها وآبائها التي ترحل معها بضعة شهور بعد أن تكتسي بالريش، فإن هذه الإخوة غالبا ما تستولي على هذه الأشياء المخبأة. وقد تساءلنا هل يمكن أن تساعدها لعبة تخبئة الأشياء غير المأكولة على اكتساب القدرة على توقع سلوك الآخرين، بحيث يمكنها النجاح في إخفاء عناصر طعامها القيم والدفاع عنه فيما بعد.

وإحدى المشكلات في اختبارات ما إذا

(*) Playing with and Hiding Food



كانت الخبرة المبكرة تؤثر في النهاية في سلوك الطيور البالغة هي أنه من الصعب مراقبة الخبرة التي قد يمتلكها طائر معين. إلا أننا لاحظنا أن الطيور أيضا راقبتنا واستخرجت خبايا الطعام التي نحن - آباؤها البدلاء ورفاقها - أخفيناها عنها. ونحن نستطيع التحكم في سلوكنا! ولعمل تجربة قمنا بتعيين أحد الأفراد لصا كان يقوم دائما بسرقة الأشياء الخبيئة التي كانت الطيور الصغيرة تخفيها فيما يبدو أنه لعب، في حين كان شخص آخر يفحص بشكل مطرد الأشياء التي تخفيها الطيور، ولكنه لم يكن يحصل قط على شيء منها. وفي موقف الاختبار زودنا الغربان التي أصبحت حينئذ أكثر نضجا بطعام وليس بأشياء غير مأكولة. وفي هذه المرة وقف الفردان - اللص وغير اللص - وراقبا سلوك الطيور دون تدخل.

في مواجهة اللص المحتمل، انتظرت الغربان - على نحو ذي دلالة - بعض الوقت قبل أن تخبئ طعامها (كما لو كانت تنتظر وقتا لا يكون فيه اللص ناظرا إليها). وقد استردت الخبايا التي خبأتها، عندما كان ذلك الرجل يمشي بالقرب منها. وعلى العكس، لم يكن وجود الفرد الأمين الذي لم يسبق له سرقة الأشياء المخبأة يسبب تأخيرا في تخزين الطعام، كما أن الطيور تجاهلته عندما اقترب من أحد مخابئها. وهكذا لم توضح هذه التجربة فقط أن الطيور تحسن مهاراتها في تخبئة الطعام بعد خبرتها مع الآخرين الذين يغيرون على خباياها، ولكنها أيضا تميز بين الأفراد (في هذه الحالة من البشر).

تمييز «العارفين»(*)

تغتذي الغربان البرية في الحقول عادة في مجموعات كبيرة كما سبق أن وصفنا، وهي تقضي معظم أوقاتها مشغولة في تخبئة الطعام لاستخدامه فيما بعد. وفي هذا الوقت يكون من المستحيل تقريبا لطائر بمفرده أن يبعد كل طائر آخر يتجول قرب واحد من عشرات مخابئ تلك الغربان. على أن الغربان اليافعة تقلل إلى حد كبير من احتمال وجود منافسين يرونها وهي تصنع مخابئها أو اضطرارها لمطاردة الآخرين الذين يمكن أن يكونوا مغيرين محتملين، وذلك ببعثرة مؤنها القيمة على مساحة عدة كيلومترات مربعة، إلا أنه في حدود قفص حفظ الطيور التجريبي، فغالبا لا يتمكن أحد الأفراد من الإفلات من عيون الغربان المنافسة المراقبة. ويعطينا هذا الموقف الفرصة لأن نحدد تجريبيا ما إذا كانت الطيور قادرة على التمييز بين الغربان المنافسة اعتمادا على ما يُحتمل أن تعرفه عن هذه الغربان، تماما كما ميزت من قبل بين بشر مختلفين.

وفي هذه السلسلة من الاختبارات استفدنا من معرفتنا بأن الغربان تميز بعضها من بعض (وكذلك بين آخرين من نوع آخر - نحن بالتحديد) كأفراد. لقد أنتجنا طيورا «عارفة» - تلك التي راقبت مواقع خبايا طائر معين في مقابل «غير العارفة» وهي تلك التي لم تلحظ مواقع الخبايا، ثم زاوجنا بين صانع الخبيئة وتلك الأفراد المنافسة المختلفة، فيما يشبه كثيرا ما فعلناه في تجارب إيضاح استجابات الطيور الصغيرة للصوص وغير اللصوص، إلا أن بناء التجربة في هذه الحالة استدعى تحويرا في مربى الطيور.

(*) Discriminatin "Knowers"



لقد خصصنا جزءا كبيرا من المربى كساحة لعمل الخبايا، وفصلنا جزءا أصغر من هذه المساحة بحائط معتم وصنعنا في الجدار نافذة صغيرة للإطلال من خلالها، ووضعنا مجثما للطائر أمامها ليحط عليه، وينظر من خلال حاجز سلكي لمراقبة الطائر الصانع للخبيئة في الجزء الرئيسي. وبجانب وحدة المشاهدة هذه جهزنا وحدة مماثلة لطائر آخر، ولكننا في هذه الحالة أسدلنا ستارا على نافذة الرؤية. وهكذا كان متاحا لكلا الطائرين الاستماع إلى الطائر الصانع للخبيئة، ولكن أحدهما فقط كان لديه نافذة للرؤية.

وسوف يُسمح للطائرين في الوحدتين الصغيرتين (في خلال خمس دقائق) بالانتقال إلى ساحة الخبايا من أجل البحث عن الطعام. وبهذا كان عندهما الدافع لمراقبة الطائر الخابئ. وبكل تأكيد، كان طبيعيا أن يجثم الطائر العارف لمحاولة مراقبة صانع الخبايا، في حين أن الطائر غير العارف في الحجرة ذات الستارة يحاول رفع الستارة للمراقبة (وقد وجدنا أنه يجب علينا أن نثبت الستارة بحيث لا يمكن رفعها). وبعد أن قام طائر الخبايا بصنع ثلاث خبايا أبعدناه عن الساحة الكبرى، وبعد خمس دقائق عدنا به لكي يستخرج مخزوناته المخبأة. وقد سمح له باستخراج أحدها إما منفردا وإما في وجود الطائر العارف أو الطائر غير العارف (كل من هذين اللصين المحتملَيْن كان في وضع التابع الخاضع بالنسبة إلى طائر الخبايا حتى لا يُحبطا استجاباته في الدفاع عن المؤن).

وتقوم الطيور الخابئة، نموذجيا، باستعادة طعامها عندما تبدو السرقة وشيكة الحدوث. وفي الحقيقة أوضحت التجارب أن الخابئات استعادت من خباياها مقدارا أكبر بقدر ذي دلالة عندما زاوجناها بالطيور العارفة عما لو زاوجناها بطيور غير عارفة أو كانت بمفردها. وإضافة إلى ذلك، إذا ما أصبح طائر عارف على بعد مترين من الغذاء المموه عمد صانع الخبيئة إلى مطاردته وإبعاده، في حين أنه كان يتجاهل الطيور غير العارفة. لقد خمنا أن الطيور الخابئة تذكر أي الطيور قد راقبتها عند عمل خبيئة معينة، ثم قامت فيما بعد بتمييزها والاحتراس منها كما لو كانت تعزو المعرفة إلى الطيور التي راقبتها. ومن الواضح أنها كانت تتوقع سلفا نوايا الطائر الذي راقبها، ومن ثم تأخذ حذرها من سلوكه المغير المتوقع. ولكن الطيور العارفة أيضا كانت تأخذ حذرها من السلوك الدفاعي للطيور الخابئة: فهي لم تكن تذهب مباشرة إلى الخبايا في وجودها، ولكنها كانت تنتظر حتى يصبح الطائر الخابئ بعيدا إلى حد معقول. وتؤيد نتائج هذه التجارب مقدرة الغراب على نسبة المعرفة إلى من يعرفها، وتوقُّع رد الفعل.

وفي شكل آخر للتجربة نفسها حاولنا اختبار احتمال أن الطيور التي بدا أنها عارفة كانت تعطي دون قصد إلماحات خفية تستطيع الطيور المدافعة قراءتها، إلا أن الطيور المدافعة كانت تعرف حقا أن الطيور العارفة قد رأتها. ولذا فقد استخدمنا شخصا، كان يقف جانبا في هدوء، كي يصنع الخبايا. وكما توقعنا من نتائج التجارب الأولى اندفعت الطيور العارفة إلى سرقة الخبايا التي من صنع الإنسان إذا كانت بصحبة عارف آخر. وعلى العكس من ذلك، إذا ما كانت بصحبة منافس مسيطر غير عارف (ويمكنه أن يهاجم المغير للحصول على الخبيئة) فإنها كانت تؤخر، عشر مرات في المتوسط، مدة الانتظار قبل أن تقترب من الخبيئة، مترقبة حين يكون الغراب المسيطر مشغولا على مبعدة. وهذه النتائج لا تستبعد تماما احتمال أن الطيور العارفة كانت تعطي بعض الإلماحات الخفية غير المعروفة والتي كانت الطيور المغيرة تستخدمها، ولكن إعطاء هذه الإلماحات أمر غير محتمل. وتشير النتائج بقوة إلى أن الطيور كانت تنخرط في سلوك معقد يعتمد لدرجة مدهشة على القدرة على تفسير أو توقع أفعال الآخرين.

فيم تفكر الغربان ؟[*]

إن دراسة الحالة الذهنية للحيوانات - التي لا تستطيع أن تعبر عن أفكارها لنا - عمل تكتنفه الصعاب. والواقع نحن لا نعرف، وربما لن نستطيع أبدا أن نعرف، ماذا يجري في ذهن حيوان آخر أو حتى أفراد آخرين من نوعنا نفسه. إلا أن لجوءنا إلى **شفْرَة أوكام**[1] Occam's razor وقبول أبسط تفسير - كما هو من تقاليد العلم - يمكننا أن نستنتج أن تجاربنا تمدنا بتأكيد ثابت بأن الغربان تستخدم نوعا من **التمثيل العقلي**[2] لتحكم مسار أفعالها. إن نتائج

(*) What Are Ravens Thinking ?

(١) المبدأ المنسوب إلى الفيلسوف William Occam (المتوفى نحو عام 1349) والذي يقضي بأن الأمور ينبغي ألا تُعقد بغير ضرورة.

(٢) mental representation



تَظهر القدرةُ على التمييز بين الأفراد في تجربة تشمل تخبئة الطعام. لقد أوجد المؤلفان طيورا «عارفة» (مثل ذلك الذي في أسفل المؤطر الأول) تستطيع مراقبة موقع خبيئة يصنعها طائر آخر، وطيورا «غير عارفة» لا تستطيع أن ترى موقع الخبيئة. وعند وضع العارف وغير العارف في منطقة الخبيئة (المؤطر الثاني) فإن صانع الخبيئة تعرَّف الطائر العارف وعزا إليه المعرفة، وتصدى لمحاولات الاقتراب من الخبيئة، في حين أنه تجاهل غير العارف حتى عندما اقترب هذا من الطعام المخبأ. [في التجربة الواقعية وضع كل من الطائرين (العارف وغير العارف) على حدة في منطقة الخبيئة، ولم تستخدم شرائط الأرجل الملونة، فهي أضيفت في الرسم لتساعد القارئ على تمييز الطيور].

تجارب جذب الحبل تدل على استخدام المنطق، كما أن خطط السرقة وتلك المضادة لها تدل على أن الغربان تحكم على منافسيها على أساس تذكر ما كانت ملتفتة إليه، وهي عندئذ تعزو إلى منافسيها القدرة على أن تعرف، ثم هي تدمج هذه المعرفة مع مرتبة السيادة في قرارات استراتيجية لصنع الخبايا واستعادتها.

إن التعلم يحدث ولكنه لا يفسر وحده كل السلوك الملاحظ، ذلك أن السلوك يحدث بسرعة جدا، في الحال تقريبا، بدون أية محاولات وأخطاء. ونحن نظن أن الطيور تبدأ من سلوك ذي إطار ذاتي مبرمج سلفا في سلوك يشبه اللعب، وهذا يولد الخبرة اللازمة للتعلم. وقد يترجم التعلم فيما بعد إلى إدراك واع، بمعنى القدرة على استخدام المنطق، بحيث يكون نافعا في السياق غير المتوقع إلى حد بعيد في وسط اجتماعي فيه منافسون ومفترسون، وبحيث يمكن أن يُنقل إلى أي سياق آخر جديد، من جذب الطعام المثبت بخيط إلى أعلى.

ونحن لا ندري مدى غرابة هذا النوع من القدرة عند الغربان في الكائنات غير البشرية. ولكننا نظن، رغم احتمال كونه غير نادر، أنه محصور بصفة عامة في أنواع معينة من الأعمال، لأن الغرائز وميول التعلم المتعلقة بالموضوع، والمعدلة وفقا لبيئة الحيوان، تتباين تباينا واسعا. على أن الأمر قد يكون أكثر عمومية لدى الغربان عما هو في معظم الحالات الأخرى. ونحن نفكر على هذا النحو لأنه لا يوجد طائر آخر نعرفه مولع باللعب مثل الغراب، ومن ثم فهو معرَّض إلى هذا التنوع من الاحتمالات. وقد تكون هذه الميول هي التي سمحت له بأن يصبح أكثر الطيور انتشارا طبيعيا في العالم، حيث إنه يقطن القارات نفسها التي يعيش فيها البشر، وهو متوائم مع العدد الكبير نفسه من البيئات المتنوعة. ■

المؤلفان

Bernd Heinrich - Thomas Bugnyar

يشتركان في إعجابهما بالقدرات الذهنية للغربان، وقد درسا هذه الطيور معا عندما كان ‹بكنيار› باحثا مشاركا في جامعة ڤيرمونت، حيث كان ‹هاينريش› أستاذا للبيولوجيا منذ عام 1980. وقد حصل ‹هاينريش› على الدكتوراه من جامعة كاليفورنيا، وأمضى عشر سنوات في قسم علم الحشرات بالكلية الجامعية في بيركلي قبل انتقاله إلى ڤيرمونت. وهو مؤلف لعدد من الكتب المشهورة، منها Ravens in Winter *(الغربان في الشتاء)، الناشر* Simon and Schuster, 1981*، و* Mind of the Raven *(عقل الغراب)، الناشر:* Harper and Collins, 1999*، الذي يعاد نشره هذا الصيف (2007). وهذه المقالة هي السابعة في* Scientific American*. أما ‹بكنيار› فقد حصل على الدكتوراه من جامعة ڤيينا عن دراسة أجراها على الغربان في محطة كنراد لورنتز البحثية في النمسا. وهو الآن محاضر في كلية علم النفس في جامعة سانت أندروز باسكتلندا.*

مراجع للاستزادة

Ravens, *Corvus corax*, Differentiate between Knowledgeable and Ignorant Competitors. Thomas Bugnyar and Bernd Heinrich in *Proceedings of the Royal Society London*, Series B, Vol. 272, No. 1573, pages 1641–1646; August 22, 2005.

Testing Problem Solving in Ravens: String-Pulling to Reach Food. Bernd Heinrich and Thomas Bugnyar in *Ethology*, Vol. 111, No. 10, pages 962–976; October 2005.

Pilfering Ravens, *Corvus corax*, Adjust Their Behaviour to Social Context and Identity of Competitors. Thomas Bugnyar and Bernd Heinrich in *Animal Cognition*, Vol. 9, No. 4, pages 369–376; October 2006.

Scientific American, April 2007

Majallat AlOloom
المجلد 23 ـ العددان 10/9
سبتمبر/أكتوبر 2007
مجلة العلوم

كشف الغموض حول التخدير(*)

ستؤدي معرفة الأسباب التي تجعل أدوية التخدير الحالية قوية جدا وخطرة أحيانا، إلى إنتاج جيل جديد من الأدوية الأكثر أمانا وبدون تأثيرات جانبية غير مرغوبة.

<A. B>. أورسر>

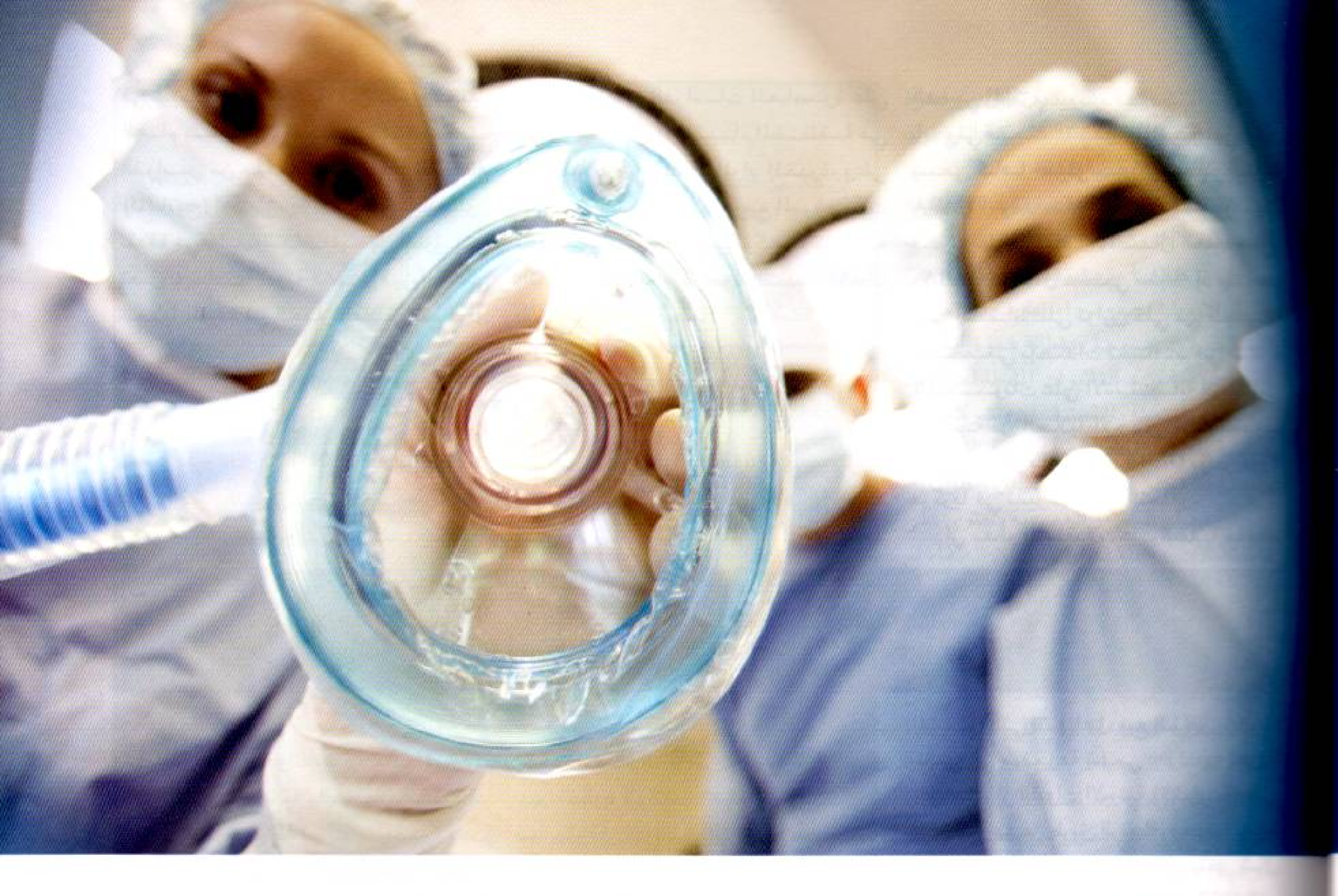
صدر هذا العام فيلم من إنتاج هوليوود يركز على شاب يصحو من التخدير أثناء خضوعه لجراحة قلب مفتوح، ولكنه حينها لم يكن قادرا على أن يتحرك أو يصرخ. ومن دون شك فإن حبكة الفيلم سوف تأخذ عدة تحولات بدءا من تلك النقطة. ولكن للأسف، فإن أحداث بداية الفيلم لا تُفسر منطقيا أحداث نهايته. فحالات الصحو أو الإدراك أثناء إجراء العمليات الجراحية تحت التخدير العام تسجل بمعدل حالة واحدة إلى اثنتين لكل 1000 مريض. وفي الحقيقة، فإن هذه الوقائع تكون عادة خفيفة وعموما لا تتشارك مع الألم أو الشدة، ولكنها تسلط الضوء على واحد من الأسباب العديدة التي تجعل حتى الجيل الأحدث من المواد المخدرة يفتقر إلى بعض الخاصيات المرغوب فيها. وبالفعل، فعلى الرغم من تطور اختصاص علم التخدير إلى فن معقد، فإن الفهم العلمي لكيفية عمل المواد المخدرة وكيف نجعلها أفضل قد بقي متأخرا مقارنة بالتطور الذي حدث في أغلبية الأدوية الأخرى.

وفي الواقع، إن العديد من أدوية التخدير الحديثة يتشارك في الخاصيات البنيوية والتأثيرات السريرية مع **الإيثر** ether الذي كان تطبيقه كمخدر قد تم توضيحه بنجاح وعلنيا من قبل طبيب الأسنان <W. مورتون> عام 1846 في بوسطن. ومنذ ذلك الحين اتسع استخدام التخدير العام إلى 40 مليون مريض في أمريكا الشمالية لوحدها. هذا وإن التقدم في العناية التخديرية منذ أيام <مورتون> قد أتى على نحو أساسي من أجهزة إعطاء الأدوية المعقدة واستراتيجيات تدبير المخاطر والتأثيرات الجانبية للتخدير.

إن أدوية التخدير العام هي أكثر الأدوية المستخدمة في الطب تثبيطا للجهاز العصبي، وهي تؤثر حتى في تنظيم التنفس ووظيفة القلب. ونتيجة لذلك، يكون لهذه الأدوية هامش ضيق من الأمان، وهو يعني الفرق بين الجرعة العلاجية والجرعة السمية أو حتى القاتلة، وهذا هو السبب الذي يدفع إلى إعطاء الأشخاص الذين تكون وظيفة الرئة أو القلب والأوعية عندهم غير مستقرة أصلا ـ مثل ضحايا الرضوض الخاضعين للعمليات الإسعافية أو المرضى أثناء جراحة القلب ـ جرعةً أخف من التخدير، مما يجعلهم معرضين لحالات من الصحو أثناء العمليات كما هي الحال في الفيلم المذكور.

وعلى الرغم من أن التطور الجذري الذي طرأ على العناية بالمرضى تحت التخدير العام، قد أرسى الأساس لعمليات معقدة كنقل الأعضاء وجراحة القلب، فإن التأثيرات المثبطة للجهاز العصبي لهذه الأدوية تجعلها أكثر احتمالا لأن تسبب الوفاة خلال العملية من الإجراء الجراحي نفسه. ولأن الوفيات المتعلقة بالتخدير قد توقفت عند نسبة مريض واحد من أصل 1300 مريض في السنوات الخمس عشرة الماضية، فإن أطباء التخدير قد وصلوا إلى الحد الأقصى من القدرة على إعطاء هذه السموم على نحو آمن. وعلى كل فإن التأثيرات الجانبية الشديدة ـ والتي تراوح بين عدم التحكم في الطريق الهوائي وبين مشكلات الذاكرة والمشكلات **الاستعرافية** congnitive بعد التخدير العام ـ قد تنشأ أيضا من التأثيرات الواسعة ولكن غير المفهومة جيدا لأدوية التخدير في الجهاز العصبي المركزي.

(*) LIFTING THE FOG AROUND ANESTHESIA



يجب أن يكون العلم قادرا على تقديم المزيد. وإن بحثا جديدا قد بدأ لمعرفة قدرة العلم على فعل ذلك.

فجميع أدوية التخدير المستخدمة اليوم كانت قد طورت تجريبيا، أي إنها اختبرت في قدرتها على إحداث التأثيرات المرغوب فيها والتي توافق الحالة التخديرية. إن **فاعليات**[1] التخدير الأساسية هي **التركين** sedation والغياب عن الوعي (ويسمى أحيانا **التنويم** hypnosis) **وعدم التحرك** immobility وغياب الألم (**التسكين** analgesia) وفقدان الذاكرة (**النساوة** amnesia) أثناء فترة التخدير. ومن خلال دراسة الآليات التي تحقق عبرها أدوية التخدير هذه الأهداف، فإن عدة مجموعات بحثية بما فيها مجموعتي في جامعة تورونتو شرعت باختبار هذه التأثيرات كل على حدة. وتظهر دراسات هذه المجموعات أن فعالية هذه الأدوية القوية تتجه نحو مجموعة معينة من خلايا الجهاز العصبي. فيحدِث التأثيرُ في كل مجموعة من الخلايا إحدى فاعليات التخدير المذكورة.

وإن تزودنا بهذه المعرفة سوف يشجعنا على أن ننتقل أخيرا إلى ما بعد عصر الإيثر، بحيث نطور جيلا جديدا من الأدوية ذات النوعية العالية والتي تستخدم بالمشاركة مع بعضها لنحصل على النتائج المرغوب فيها من دون مخاطر. إضافة إلى ذلك فإن هذا البحث سوف يعطينا أفكارا لتطوير علاجات ذات علاقة بموضوعنا، كالمهدئات والأدوية المساعدة على النوم التي تشارك التخدير في بعض آلياته.

وتقسم أدوية التخدير إلى قسمين رئيسيين، اعتمادا على إعطائها **بالطريق الإنشاقي**[2] (مثل **إيزوفلوراين** isoflurane) أو بالطريق الوريدي (مثل **بروبوفول** propofol). وقد يبدو أن هذه الأدوية تسبب النوم العميق، ولكن من الأصح وصف الحالة التي يحدثها معظم أدوية التخدير الحديثة، بأنها سبات (غيبوبة) محدث بالأدوية. وكخطوة لتوضيح الآليات التي من خلالها تؤثر هذه الأدوية تمت الاستعانة ببعض التقانات، مثل التصوير بالرنين المغنطيسي (MRI) والتصوير الطبقي بضخ البوزيترون (PET). وقد ساعد ذلك على تحديد بعض مناطق الدماغ الخاصة والدارات العصبية المسؤولة عن إحداث العناصر المكونة للحالة التخديرية. فمثلا، إن التأثير التخديري في النخاع (الحبل) الشوكي هو المسؤول عن عدم التحرك المحدث بالأدوية؛ في حين أننا نجد أن التغيرات المحدثة بالأدوية في **الحصين** hippocampus (وهو جزء من الدماغ له علاقة بتشكيل الذاكرة)، قد تم ربطها بحدوث النساوة. إن ضعف أو تلف الذاكرة المزمن التالي للجراحة، وهو أحد التأثيرات الجانبية غير المرغوب فيها الذي يعانيه بعض المرضى، قد يمثل تأثيرا **ثماليا**[3] للأدوية في الحصين.

ولأن الوعي هو تجربة معقدة مازالت الخواص المحددة لها مثار جدل بين المتخصصين في العلوم العصبية، فإنه ليس من السهل أن نحدد مكانا تشريحيا واحدا نعتبره منشأ الغياب عن الوعي خلال التخدير. وإحدى النظريات الأساسية ببساطة أنه ناتج من «**عدم الربط الاستعرافي**»[4] ـ أي قطع الاتصال بين عدة مناطق دماغية عادة ما تتعاون في العمليات الاستعرافية العليا. وحتى على المستوى الموضعي إذا تخيل المرء مجموعات من الخلايا العصبية وكأنها تشكل خطوطا

(1) properties ج: فاعلية.
(2) inhalation
(3) leftover
(4) cognitive unbinding

في شبكة هاتفية ضخمة، فإن تأثير التخدير العام مشابه لما يحدث عند سحب القوابس من مآخذها في **لوحة القواطع (المفاتيح)** switchboard. ويحقق الباحثون تقدما في كشف التفاصيل حول الطرق التي تعمل بوساطتها أدوية التخدير فيزيائيا على الخلايا المفردة في الجهاز العصبي لمنع النقل فيها.

خلال معظم القرن العشرين كان يعتقد على نحو واسع أن أدوية التخدير تعمل على تعطيل المكونات الدسمة لأغشية الخلايا. إن معظم أدوية التخدير هو مركبات حلولة على نحو كبير في الدسم وذات تراكيب كيميائية مختلفة على نحو واسع يراوح بين الغازات الخاملة البسيطة والستيرويدات المعقدة. واختلافاتها الفيزيائية والكيميائية الكبيرة قد دعمت الفكرة القائلة إن المواد المخدرة يجب أن تعمل بطريقة ما غير نوعية لتثبط الوظيفة العصبونية. وقد أظهر بحث حديث أن أدوية التخدير تتداخل فعليا مع بروتينات معينة كثيرة التنوع تعرف **بالمستقبلات** receptors، وتوجد على سطح خلايا الأعصاب. وتتضمن عائلات المستقبلات هذه نسخا مختلفة عن بعضها على نحو دقيق، بحيث تميل كل مجموعة إلى أن تكون ذات انتشار مسيطر في مناطق معينة من الجهاز العصبي المركزي. إن وجود **أنماط فرعية** subtypes معينة على مجموعات جزئية من الخلايا فقط سوف يحدد إذًا أي الخلايا سوف تتأثر بالمخدر.

لذلك تركز الدراسات المعاصرة على تحديد أي من الأشياء المختلفة في المستقبلات هي أهداف المواد المخدرة، وعلى فهم كيف تتفاعل الأدوية مع المستقبلات لتغيير وظيفة الخلية وكيف تنتج هذه التغيرات الخلوية «أعراض» التخدير المرغوب فيها وغير المرغوب فيها.

إعطاء إشارات تهدئة[*]

لقد وجدت مجموعات متعددة من بروتينات المستقبلات على سطح العصبونات، ولكن تلك التي تتفعل بالنواقل العصبية الكيميائية قد حازت على معظم الاهتمام في أبحاث التخدير، لأنها تنظم على نحو دقيق الاتصال عبر «خطوط الهاتف» العصبية. وكما يوحي اسمها، فإن جزيئات النواقل العصبية تنقل الرسائل بين العصبونات عند نقاط الاتصال التي تسمى **المشابك** synapses. وهي تقوم بذلك بالانتقال بين ما يسمى العصبون ما قبل المشبك عبر مسافة دقيقة لترتبط بالمستقبلات الموجودة على غشاء العصبون ما بعد المشبك. وعندما تحرض كمية كافية من جزيئات الناقل العصبي المستقبل الملائم، فإن غشاء الخلية العصبية ما بعد المشبك يولد كمونا كهربائيا يسير على طول العصبون إلى العصبون التالي في الشبكة نفسها. إن السيروتونين والگلوتامات والنورإپينفرين والأسيتيل كولين هي نواقل عصبية درست على نحو واسع لدورها في إحداث هذه الإشارات عبر الجهاز العصبي المركزي.

وفي مبحث التخدير ناقل عصبي آخر يسمى **كاما أمينو حمض البيوتيريك** GABA[1]، وقد حاز أغلب الاهتمام بسبب قدرته على إيقاف الاتصال العصبي. وGABA هو ناقل عصبي مثبط؛ إذ يساعد على الحفاظ على توازن كلي في الجهاز العصبي بإحداث تخامد في قدرة العصبونات على الاستجابة للرسائل المهيجة من الخلايا الأخرى. لذلك السبب كان التفكير بأن الناقل GABA يؤدي دورا مركزيا في تأثيرات أدوية التخدير.

إن تأثير التخدير مشابهة لسحب القوابس من مآخذها في لوحة القواطع.

إن معظم المستقبلات على الخلايا ما بعد المشبك والتي تتفاعل مع الناقل GABA ينتمي إلى مجموعة تسمى ligand-gated ion channels، أو القنوات الأيونية (الشاردية) التي تفتح أبوابها عن طريق الربيطة. فعندما يرتبط الناقل GABA (الربيطة) بالمستقبل، يتغير شكل هذا المستقبل، مما يؤدي إلى انفتاح القناة التي تدخل الأيونات المشحونة سلبيا إلى الخلية. وبعد ذلك فإن زيادة تركيز الأيونات السلبية يولد كمونا سلبيا، مما يمنع الخلية من التمكن من توليد نبضة كهربائية استثارية.

والمستقبل الذي يعتقد أنه الهدف الرئيسي للمواد المخدرة هو الناقل GABA من النمط الفرعي A أو $GABA_A$، وهو نفسه المسؤول عن التأثيرات العلاجية لأصناف من المركنات والمنومات وبالذات البنزوديازيپينات benzodiazepines، مثل الڤاليوم valium. وإن تراكيز منخفضة جدا من البنزوديازيپينات تزيد وظيفة المستقبل $GABA_A$، وهذه علاقة من السهل إثباتها، لأن الأدوية المعاكسة التي تعيق ارتباط البنزوديازيبين بالمستقبل $GABA_A$ تزيل بسرعة تأثيرات هذه الأدوية.

ولسوء الحظ لا يوجد مثل هذه الأدوية المعاكسة لأدوية التخدير العام لكي تزودنا بمعلومات عن المستقبلات الهدف. وعلى أي حال فإن دراسات تستخدم أجزاء من مناطق مختلفة من الدماغ والخلايا العصبية ومأخوذة من نسج مزروعة، قد أظهرت أن كلا من المواد

(*) Signaling Silence
(1) gammaaminobutyric acid

نظرة إجمالية/ تحسين أدوية التخدير العام

- إن أدوية التخدير العام هي مثبطات قوية للجهاز العصبي المركزي، ولكن مازال من غير المفهوم جيدا كيف تُحدث هذه الأدوية تأثيراتها الواسعة في الدماغ والجسم.
- تكشف الأبحاث التي تتناول الآليات التي تعمل وفقها أدوية التخدير العام، أن جميع الجوانب المشكلة للحالة التخديرية يمكن أن تعزى إلى مجموعات مختلفة من الخلايا العصبية. وتتميز هذه المجموعات من بعضها عن طريق بروتينات سطحية نوعية تتفاعل مع هذه الأدوية.
- قد يكون من الممكن إنتاج أدوية جديدة تستهدف هذه البروتينات، ومن ثم أنماطا محددة من الخلايا، بحيث نكون قادرين على الحصول انتقائيا على التأثيرات المرغوب فيها لأدوية التخدير - إضافة إلى المركنات ومساعدات النوم وأدوية الذاكرة - مع مخاطر وتأثيرات جانبية أقل.

الخدرة الإنشاقية والوريدية تطيل من فترة التيارات الكهربائية ما بعد المشبكية التي تولد بوساطة المستقبلات $GABA_A$.

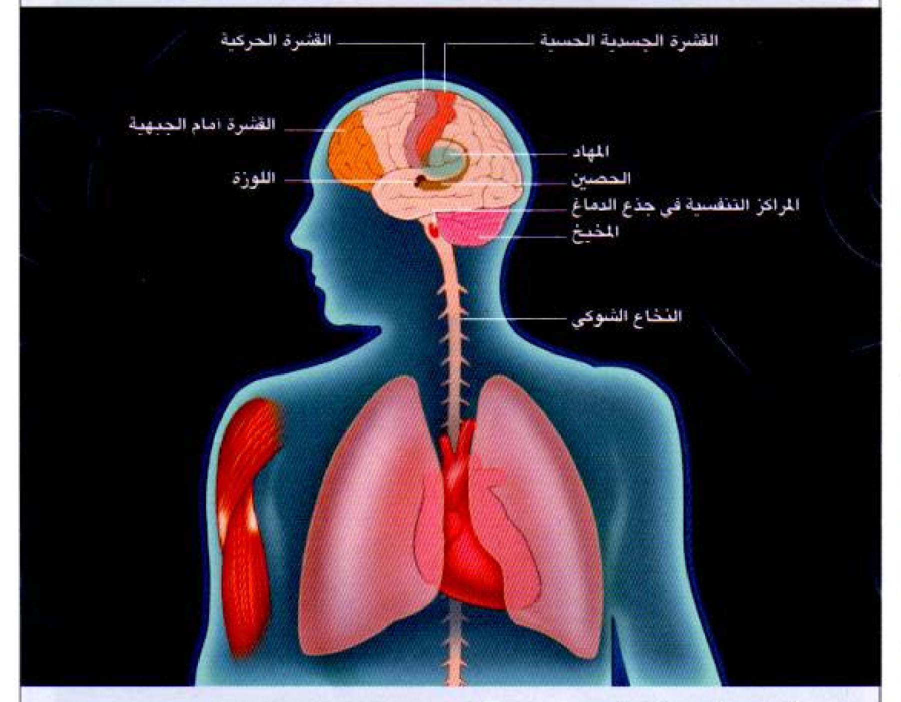
ويعتقد أن المواد المخدرة تزيد من وظيفة المستقبلات $GABA_A$ عن طريق تفاعلات ترتبط من خلالها بتجاويف منفصلة، أو عن طريق الارتباط بحموض أمينية محددة ضمن المستقبلات نفسها وبإطالة فترة انفتاح القنوات، مما يزيد التأثيرات المثبطة لجزيئات $GABA_A$ المرتبطة بالمستقبل. وبتركيزات عالية بالقدر الكافي، فإن أدوية التخدير وحدها قد تحفز مستقبلات الناقل GABA.

إن معظم الخلايا العصبية يحتوي على المستقبلات $GABA_A$، ولذلك فإن العلماء لم يستطيعوا تفسير كيف يمكن للمواد المخدرة أن تؤثر انتقائيا في مناطق مختلفة من الدماغ، وقد استمر ذلك حتى ظهور الاكتشافات المهمة خلال العقد الماضي بأن المستقبلات $GABA_A$ ليس لديها جميعها الخواص نفسها من النواحي الشكلية والفارماكولوجية. فالمستقبلات $GABA_A$ هي معقد بروتيني مكون من خمس وحدات فرعية، حيث يمكن أن تمتزج وترتبط بعدة تراكيب. وعلى الأقل يوجد 19 نوعا من وحدات فرعية $GABA_A$ في الثدييات، ومعظمها لديه عدة **أنماط فرعية** subtypes، ولذلك فإن العدد الممكن للتراكيب مرتفع جدا. إن الوحدات الفرعية غالبا ما ترى في العصبونات، وهي تحدد على أنها ألفا وبيتا وكاما. وفي الحقيقة، يتكون معظم المستقبلات $GABA_A$ من وحدتين فرعيتين ألفا واثنتين بيتا وكاما واحدة، ولكنه أحيانا تحل وحدة دلتا أو إبسيلون محل كاما بحسب المنطقة من الدماغ. ولكن الاكتشاف الأهم هو أن التركيب المكون من الوحدات الفرعية يغير على نحو لافت الخواص الفارماكولوجية: إن وجود فرق في وحدة فرعية واحدة في تركيب المستقبل $GABA_A$ يحدد إمكانية الاستجابة لمادة مخدرة معينة وكيفيتها.

ولأن أنماطا فرعية مختلفة من المستقبلات $GABA_A$ تسيطر في مناطق مختلفة من الدماغ، فإن الباحثين صاروا حاليا قادرين على نحو متزايد على أن يفسروا بدقة كيف تستطيع المواد المخدرة أن

التأثير الواسع للتخدير(*)

إن كلا من التأثيرات المرغوب فيها وغير المرغوب فيها للأدوية المخدرة تنشأ عن قدرتها على تثبيط الفعالية العصبية في الجهاز العصبي المركزي، الذي يضم الدماغ والنخاع (الحبل) الشوكي ويتحكم في التنفس ومعدل ضربات القلب. وتحاول الأبحاث الحالية أن تحدد بدقة المناطق والتراكيب العصبية التي يؤدي التغيير في وظيفتها إلى إحداث كل من العناصر المكونة للحالة التخديرية.



فاعليات الحالة التخديرية(**)

التركين sedation

نقص الاستثارة، وتتظاهر بالزيادة في فترة الاستجابة والكلام المبهم ونقص الحركة. تنقص الفعالية العصبية عبر مناطق قشرة الدماغ.

الغياب عن الوعي unconsciousness (ويسمى أيضا **التنويم hypnosis**)

نقص في الإدراك والاستجابة للمنبهات. يكون التثبيط القشري أكثر منه في التركين. كذلك يهبط النشاط على نحو ملحوظ في **المهاد** thalamus، وهو منطقة مهمة لتكامل العمليات الدماغية.

عدم التحرك immobility

عدم وجود حركة كاستجابة للمنبهات، كالهز والحرارة. إن تثبيط الفعالية العصبية للنخاع الشوكي هو السبب الرئيسي لهذا الشلل المؤقت، مع أن المخيخ (وهو منطقة تحكم في الحركة) قد يسهم في ذلك.

النساوة amnesia

عدم تذكر فترة التخدير. يبدي العديد من تراكيب الدماغ تغيرات محدثة بالمواد المخدرة، بما فيها الحصين، اللوزة، القشرة أمام الجبهية، القشرة الحركية والحسية.

فاعليات أخرى

إرخاء عضلي وزوال الألم (**التسكين** analgesia) ويتم أحيانا تضمينهما عند تحديد الحالة التخديرية، ويعزيان إلى تثبيط فعالية النخاع الشوكي.

(*) Anestheisa's Broad Impact
(**) Components of the Anesthetized State

تنتج تأثيرات محددة في مناطق مختلفة من الجهاز العصبي المركزي عن طريق تفحص كيف تتفاعل الأدوية في هذه المناطق مع مستقبلاتها الهدف.

نحو تحديد أدق لأهدافنا(**)

قررت وزملائي أن نركز على تحديد المستقبلات التي تؤثر في الخواص المعطلة للذاكرة، فلذلك ركزنا دراساتنا على المستقبلات $GABA_A$ في الحصين. ومن المعروف أن المواد المخدرة تسبب النساوة في جرعات أخفض بكثير من تلك الضرورية للغياب عن الوعي وعدم التحرك، وهو تأثير معروف بالنسبة إلى أطباء التخدير مثلا، لأن المرضى نادرا ما يتذكرون محادثاتهم في الفترة ما قبل التخدير وبعد الصحو منه مباشرة. ومع ذلك ولأسباب غير معروفة يعاني بعض المرضى تذكرًا غير متوقع لأحداث جرت خلال الجراحة نفسها. وهكذا، فعن طريق إيجاد المستقبلات الهدف الصحيحة لتأثيرات التخدير المسببة للنساوة قد يصبح من الممكن أن نحدد المرضى الذين لديهم خطورة الصحو أثناء العمليات، لأن لديهم نقصا في هذه المستقبلات. وكبديل لذلك، يمكن تطوير استراتيجيات دوائية لمنع حدوث الصحو أو على الأقل منع تذكر حدوثه.

لقد كان من المدهش خلال عملنا أن نجد أنه حتى المستقبلات خارج المشبك يمكن أن يكون لها دور في عمل المواد المخدرة. إذا كان المشبك يعمل كلوحة قواطع بين خليتين، فإن المستقبلات في محيط المشبك أو المنتشرة على طول جسم الخلية العصبية يمكن أن نتصورها كقواطع موضوعة على الخط الهاتفي نفسه. إن المستقبلات $GABA_A$ هذه، تفعل حتى بتراكيز منخفضة جدا من مادة GABA التي تكون موجودة طبيعيا في الحيّز الخارج الخلوي أو تتناثر من المشابك المجاورة. وكما يبدو، فإن أعدادا كبيرة من المستقبلات الخارج المشبكية توجد في مناطق معينة من الدماغ، مثل الحصين و**المهاد** thalamus (وهي منطقة لها علاقة بالوعي وتوليد الألم)، وكذلك مناطق في القشرة والمخيخ.

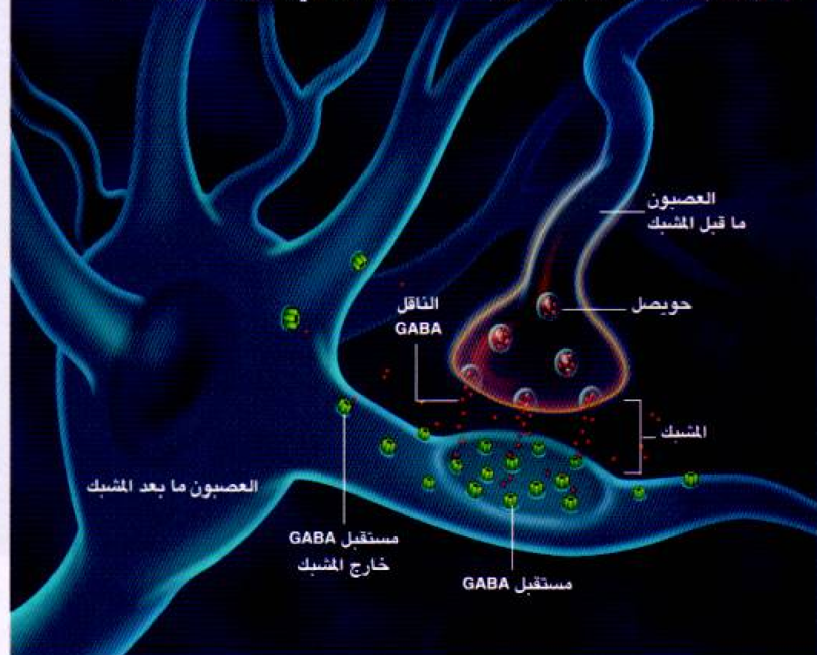
لقد اكتشفنا مصادفة دور المستقبلات

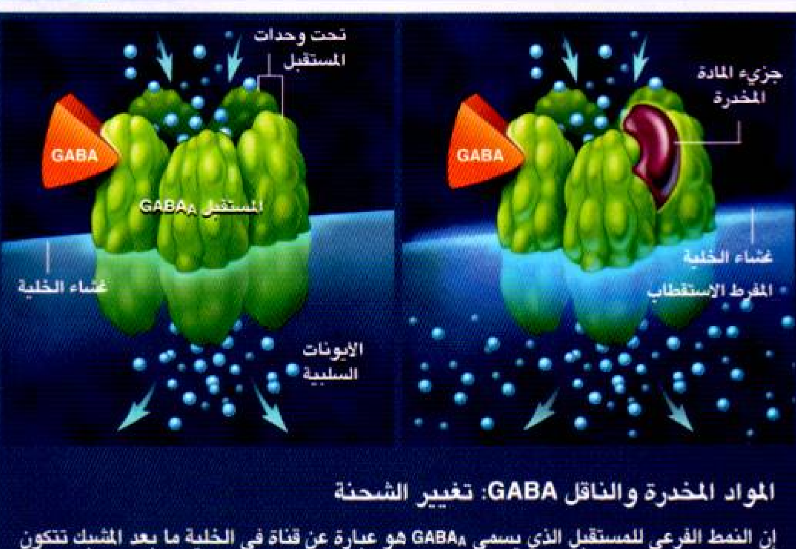
كبح النقل(*)

لقد وجد أن الأدوية المخدرة تخمد النقل العصبي بطرق منها زيادة تأثيرات الناقل العصبي GABA، وهو جزيء يحمل إشارة تمنع الخلايا العصبية من الإطلاق. ويركز البحث الحالي على الكيفية التي تتفاعل وفقها الأدوية مع مستقبلات الناقل GABA الخلوية لكبح الفعالية العصبية.

إشارة لالتزام الصمت

تؤدي نبضة كهربائية في غشاء خلية عصبية لتحرير الناقل GABA إلى المشبك، وهو المنطقة الواصلة مع عصبون آخر. تعبر الجزيئات فاصلا صغيرا وترتبط بمستقبلات نوعية للناقل GABA في الخلية ما بعد المشبك. وفي عدة مناطق من الدماغ، توجد مستقبلات الناقل GABA خارج المشبك وعلى جسم الخلية العصبية، وتنفعل بوساطة الناقل GABA الذي يتدفق خارجا من المشبك.





المواد المخدرة والناقل GABA: تغيير الشحنة

إن النمط الفرعي للمستقبل الذي يسمى $GABA_A$ هو عبارة عن قناة في الخلية ما بعد المشبك تتكون من خمس وحدات فرعية بروتينية. وعندما يرتبط الناقل GABA به، يفتح المستقبل ليدخل الأيونات ذات الشحنة السلبية، فيزيد من استقطاب الغشاء الخلوي ويمنع العصبون من توليد النبضة الكهربائية (*في اليسار*). ويعتقد أن المواد المخدرة تعمل عن طريق الارتباط بشقوق في المستقبل $GABA_A$ وإطالة مدة فتح القنوات، مما يسبب فرط استقطاب الغشاء الخلوي (*في اليمين*).

Jamming Transmission (*)
Narrowing Down Targets (**)

GABA$_A$ الخارج المشبكية كأهداف للأدوية المخدرة بعد محاولاتنا غير الناجحة لبعض الوقت في أن نحدد المستقبلات ما بعد المشبكية الحساسة لتراكيز المواد المخدرة الخفيفة التي تسبب النساوة. وكنا قد بحثنا عن مجموعات المستقبلات ما بعد المشبكية التي تتعدل تآزريا من قبل البروپوفول propofol والميدازولام midazolam، وهما اثنان من الأدوية الأكثر استخداما كمثبطات عصبية، ولم نجد أيا من هذه المستقبلات أيضا. وعلى أي حال، اعتمد عملنا على أخذ تسجيلات للتيارات الكهرفيزيولوجية المولدة في العصبونات الحصينية في النسج المستقبلات GABA$_A$ الخارج المشبكية كانت مختلفة هيكليا على نحو طفيف عن مجموعات المستقبلات ضمن المشبك، من حيث إنها تحوي على نحو رئيسي الوحدة الفرعية alpha-5 التي تفتقدها المستقبلات ما بعد المشبكية عموما. وهذا التغير المفرد بدا أنه السبب في حساسيتها حتى لكميات ضئيلة من أدوية التخدير. لقد كانت هذه النتائج مثيرة لنا، لأن هناك إثباتات متزايدة من علماء العلوم العصبية الذين يعملون على أسئلة بحثية أخرى حول أن المستقبلات GABA$_A$ التي تحوي الوحدة الفرعية alpha-5 لها دور في عمليات الذاكرة المعتمدة على الحصين، وفي الوقت نفسه توظف مختبرات في أوروبا وأمريكا تقنيات تجريبية لاستكشاف تأثيرات التنويم وعدم التحرك لأدوية التخدير. فمثلا طور <E. G> هومانيكس> [من كلية طب بيتسبرگ] فئرانا تفتقد للوحدة الفرعية delta من المستقبلات GABA$_A$ التي من المعروف أنها تمنح حساسية عالية **للستيرويدات العصبية** neurosteroids. لقد وجدت مجموعته أن الفئران المفتقدة لدلتا كانت كما هو متوقع أقل حساسية للمخدر ذي الأساس الستيرويدي «ألفاكزالون» alphaxalone في الاختبارات التي تقيس قوة الدواء على إحداث الغياب عن الوعي. ولكن

قد تُطوَّر استراتيجيات دوائية تمنع حدوث الإدراك أو على الأقل تذكره.

المزروعة، ولاحظنا أن التراكيز المحدثة للنساوة قد زادت على نحو مهم من التيارات المنخفضة المدى، التي تتولد من قبل المستقبلات GABA$_A$ الخارج المشبكية. فعوضا عن تكوين استجابة عند «لوحة القواطع»، كانت الأدوية تعمل على إحداث طنين سكوني أو مثبِّط في الخط الهاتفي نفسه مسببا التشويش على الاتصال.

ووجدنا أن الدوائين الوريديين إيتوميديت etomidate وبروپوفول وحتى المخدر الإنشاقي إيزوفلورين تزيد مدى التيار بمقدار 35 ضعفا، وذلك بتراكيز أخفض بعدة مرات من تلك الضرورية لإحداث **عدم التحرك** immobility. والباحثون الآخرون بمن فيهم <M. فارانت> و<S. G. بريكلي> وزملاؤهما [في جامعة لندن (UCL)]، قد وصفوا هذا التيار المنخفض حتى بغياب أدوية التخدير. ولكن ما فاجأ مجموعتنا هو حساسية المستقبلات الخارج المشبكية على نحو مهم لكل من أدوية التخدير الوريدية والإنشاقية، في الوقت الذي لم تسبب التراكيز المنخفضة إلا تغيرات يمكن إهمالها في التيارات ما بعد المشبكية. والدراسات السابقة، مثل دراستنا، قد ركزت على نحو واضح على المجموعة الصحيحة من پروتينات المستقبلات، ولكنها كانت تنظر في الاتجاه الخاطئ.

وأخيرا توصلت تجاربنا إلى أن وهذا يدعم نظريتنا بأن المستقبلات alpha-5 الخارج المشبكية مسؤولة عن تأثيرات الأدوية في الذاكرة. ولكي نثبت نظريتنا أكثر، لجأنا إلى إجراء التجربة على الفئران المعدلة وراثيا والتي لا تمتلك الوحدة الفرعية alpha-5 وعلى الفئران الطبيعية التي تمتلك الوحدات الفرعية هذه. وكما هو متوقع، ففي الفحوص السلوكية كانت الفئران الطبيعية حساسة لجرعات الإيتوميديت المسببة للنساوة، في حين لم تظهر التأثيرات الدوائية في الذاكرة عند الفئران التي ينقصها المستقبل.

ووجدنا أيضا أن فقدان المستقبلات alpha-5 GABA$_A$ ليس له تأثير في أي من نتائج التخدير: التركين، عدم التحرك، التنويم، الاستجابة للمنبه الألمي. فقد كانت نفسها في مجموعتي الفئران. وأظهرت هذه النتائج أن تأثيرات الإيتوميديت في الذاكرة يمكن أن تفصل عن خواص الدواء الأخرى بالاعتماد على الفارماكولوجية الخاصة بوحدات فرعية معينة في المستقبل. وقد أعطتنا هذه التجارب أيضا النموذج الأول عند حيوانات التجربة للاختلافات في المستقبلات التي قد توجد عند البشر ويمكنها أن تشرح بعض حالات المقاومة لقدرة المخدر على إحداث النساوة. إن الدراسات الحالية سوف تحدد فيما إذا كانت أدوية التخدير العام الأخرى تستهدف أيضا المستقبلات alpha-5 GABA$_A$ لتحدث النساوة.

الفئران المعدلة لم يظهر عليها فرق في استجابتها للپروپوفول والإيتوميديت وأدوية التخدير غير الستيرويدية الأخرى عند مقارنتها بمجموعة الشاهد الطبيعية. عموما لا تستخدم أدوية التخدير الستيرويدية حاليا، ولكن هذه النتائج أكدت المبدأ القائل بأن أصنافا مختلفة من أدوية التخدير تستهدف مجموعات فرعية مختلفة من المستقبلات GABA$_A$.

لقد غيرت مثل هذه التجارب الفكرة القديمة التي تقول إنه لكون أدوية التخدير مختلفة فيما بينها كيميائيا، فإنها يجب أن تُحدث تأثيراتها المتعددة بآلية عامة معينة. ويبدو أن التطوير التجريبي للأدوية المخدرة قد عثر على مواد كيميائية تنتج تأثيرات نهائية متشابهة، مع أن كل دواء منها يعطي هذه التأثيرات عن طريق آليات خاصة به.

على سبيل المثال، الإيتوميديت هو المخدر الوحيد في الممارسة السريرية الانتقائي للمستقبلات GABA$_A$ التي تحتوي على وحدات فرعية beta-2 أو beta-3 وليس beta-1. وبالفعل فإن الفروق بين تحت الوحدات beta التي تستجيب للإيتوميديت وتلك التي لا تستجيب، أنها لا تحتوي حتى على تغير في حمض أميني واحد في نقطة معينة في الهيكل المكون لوحدات الپروتين الفرعية. وقد طورت شركة الأدوية ميرك Merk فئرانا منقولة الجينات (المورثات) مع

طفرة في موقع الحمض الأميني ضمن الوحدة الفرعية beta-2، ووجدت أن الإيتوميديت كان أقل تأثيرا في إحداث غياب الوعي عند الحيوانات، ولكن تأثيرات عدم التحرك الخاصة بالدواء قد بقيت. ولّد <U. رودولف> [عندما كان في جامعة زيوريخ] فئرانا منقولة الجينات مع الطفرة نفسها في الوحدة الفرعية beta-3، ووجد أنها أزالت على نحو كبير فعالية الإيتوميديت والپروپوفول في إحداث الغياب عن الوعي والتسكين عند الحيوانات. وعلى العكس، فقد تبين أن الألفاكزالون كان له التأثير نفسه في كل من الفئران الطبيعية وتلك التي تحمل الطفرة، مما يشير إلى أن الوحدات الفرعية هذه هي على الأغلب أهداف غير مهمة لهذا الدواء.

وحتى الآن، لم يتحدد ما إذا كانت الطفرات الدقيقة في الوحدات الفرعية للمستقبلات beta-2 و beta-3 تؤثر في الخواص المخدرة للدواء. كما أن مناطق الجهاز العصبي المركزي في الفئران المنقولة الجينات التي تتأثر بالطفرات مازالت مجهولة، مع أن بعض الدلائل تقترح أن المستقبلات $GABA_A$ الخارج المشبكية في المهاد يمكن أن تكون مهمة. وإذا أخذنا هذه الدراسات جميعا وجدناها تؤكد الدور المركزي الذي تؤديه المستقبلات $GABA_A$ في عمل أدوية التخدير. والخطوة القادمة ستكون البدء بترجمة هذه المعرفة المأخوذة من أدوية التخدير العام الحالية إلى أدوية تكون غير عامة.

معالجة موائمة للغرض منها(*)

كما بين بحث مجموعتي والمجموعات الأخرى فإن المستقبلات الخارج المشبكية alpha-5 $GABA_A$ في الحصين هي أساسية لتأثيرات الإيتوميديت المحدثة للنساوة، وربما لأدوية التخدير العام الأخرى المستخدمة حاليا. وتقترح هذه النتائج أن الأدوية التي تتجنب أو تستهدف ذلك المستقبل المحدد، بإمكانها أن تحفظ انتقائيا تشكل الذاكرة أو تمحوه بحسب الحاجة.

في الحقيقة، يتم تطوير مثل هذه المركبات لاستخدامات أخرى. إن الأدوية المركنة-المنومة ـ التي لا تعمل على الوحدة الفرعية alpha-5، ومن ثم ليس لها تأثير مشوش للذاكرة كما في البنزوديازيبينات وبعض الحبوب المنومة المعينة ـ هي في المرحلة ما قبل السريرية. وأما الگابوكزادول Gaboxadol ـ وهو الدواء الأول الذي يستهدف انتقائيا المستقبلات $GABA_A$ الخارج المشبكية لزيادة وظيفتها ـ فإن التجارب السريرية عليه تُجرى حاليا. لقد طُوِّر الگابوكزادول في البداية كدواء مضاد للاختلاج، ولكنه يدرس حاليا كدواء محدث للنوم؛ إنه يستهدف المستقبلات $GABA_A$ المحتوية على الوحدة الفرعية delta والموجودة على نحو رئيسي في المهاد والمخيخ، ولذلك فإنه قد يتجنب التأثير في الذاكرة. إن خاصية حصر الذاكرة الموجودة في المركبات المشابهة والتي تتفاعل مع المستقبلات alpha-5، يمكن أن تكون مفيدة جدا في حالات الجراحة؛ إذ ستكون من الأدوية المرغوب فيها بشدة، تلك الأدوية التي تحدث النساوة من دون تثبيط التنفس أو منعكسات الطريق الهوائي أو الجهاز القلبي الوعائي. وبالمشاركة مع أدوية التخدير الأخرى يمكن أن يُستخدم دواء مزيل للذاكرة للوقاية من حالات الصحو أثناء العمليات على سبيل المثال. وقد تكون مثل هذه الأدوية مفيدة لوحدها في علاج المرضى الذين يعانون **اضطراب الشدة بعد الرض** post traumatic stress disorder عن طريق تثبيط ذكريات معينة مثيرة للشدة.

إن التعامل مع تأثيرات التخدير في الذاكرة هو مثال واحد على المقاربة الجديدة لعلم التخدير التي سوف تكون ممكنة مع مثل هذه الأدوية التي يجري العمل عليها. ففي العديد من الحالات يكون التثبيط العصبي الواسع والشامل لأدوية التخدير الحالية غير

(*) Tailored Treatment
(1) sampler



ضروري وغير مرغوب فيه. ومع خلطة من المركبات، كل منها يحدث نتيجة واحدة مرغوبا فيها، ستكون النسخة المستقبلية من العناية التخديرية قادرة على جعل المريض يتحدث غير شاعر بالألم عند رد كسر في أحد أطرافه، أو يكون عديم الحركة ومركنا ولكنه واع في أثناء تبديل مفصل الورك لديه. إن هذه المقاربة المتعددة الأدوية تستخدم فعليا على نحو واسع في جوانب أخرى في العناية المتعلقة بالجراحة، وأكثرها في علاج الألم بعد العمليات.

إن التخدير حاليا أكثر أمانا مما مضى، ولكن بكل تأكيد ليس خاليا من الخطورة. ولدينا فرصة كبيرة حاليا لننتقل إلى ما بعد مرحلة الإيثر باتجاه نمط حديث فعلا للعناية التخديرية. ■

Risk-Management Tools (+)

المؤلفة

Beverley A. Orser

أستاذة علم التخدير والفيزيولوجيا في جامعة تورونتو وممارسة التخدير في المستشفى الجامعي Sunnybrook Health Sciences Center ورئيسة قسم أبحاث التخدير في كندا. وتركز «أورسر» كونها طبيبة وباحثة، على تحسين سلامة المرضى. وبدراسة الآليات الجزيئية التي تتضمنها أدوية التخدير، فإنها تأمل أن تدفع قدما تطورات العناصر الجديدة والعلاجات المرتبطة بها ليكون التحكم فيها أكثر دقة. وتعمل «أورسر» أيضا مستشارة لشركة الأدوية ميرك، التي طورت مساعد النوم «كابوكزادول».

مراجع للاستزادة

Anesthesia Safety: Model or Myth? Robert S. Lagasse in *Anesthesiology*, Vol. 97, pages 1609–1617; December 2002.

Molecular and Neuronal Substrates for General Anaesthetics. Uwe Rudolph and Bernd Antkowiak in *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 5, pages 709–720; September 2004.

Emerging Molecular Mechanisms of General Anesthetic Action. Hugh C. Hemmings et al. in *Trends in Pharmacological Sciences*, Vol. 6, No. 10, pages 503–510; October 2005.

α5GABA$_A$ Receptors Mediate the Amnestic but Not Sedative-Hypnotic Effects of the General Anesthetic Etomidate. Victor Y. Cheng et al. in *Journal of Neuroscience*, Vol. 26, No. 14, pages 3713–3720; April 5, 2006.

Scientific American, June 2007

منع الانقطاع الشامل للكهرباء (*)

إن شبكة كهرباء أكثر ذكاء وتستجيب بصورة تلقائية للمشكلات الطارئة، يمكنها أن تقلل العدد المتزايد من الانقطاعات الشاملة للكهرباء.

<مسعود أمين> ـ <P. F. شيوي>

كان الرابع عشر من الشهر 2003/8 يوما من الأيام الحارة المعتادة في وسط الغرب الأمريكي؛ ولكن بعد الثانية عصرا بقليل احتك عدد من خطوط الحمل الكهربائي العالي في شمال أوهايو ببعض الأشجار العالية، مما أدى إلى انقطاع التيار الكهربائي في تلك المنطقة. ومن المعتاد أن يؤدي مثل هذا الاضطراب إلى إطلاق أجهزة الإنذار في مركز التحكم المحلي، حيث يقوم العاملون فيه وبالتعاون مع القائمين على التحكم في المناطق المجاورة، بالعمل على تعديل مسارات الطاقة الكهربائية تفاديا للمنطقة المصابة.

ولكن في ذلك اليوم ونتيجة لعطل في البرامج الحاسوبية المتحكمة في أجهزة الإنذار، لم تنطلق هذه الأجهزة، مما جعل المشغلين المحليين على غير علم بتلك المشكلة. أما العاملون الآخرون الذين كانوا مشغولين بتوجيه كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية إلى مساحات تمتد مئات الأميال عبر أوهايو وميتشيگان وشمال شرق الولايات المتحدة وأونتاريو في كندا، فقد كانوا هم أيضا غير منتبهين لذلك، مما أدى إلى أن تتحمل خطوط الطاقة المحيطة بالمنطقة المصابة كميات من الكهرباء أكبر من القيم الآمنة للتشغيل.

ومما زاد الأمر سوءا أن **مرافق الكهرباء** utilities حينذاك لم تكن تقوم بتوليد القدر الكافي من **الطاقة المفاعلية**[1] reactive power، وهي من خصائص المجالين المغنطيسي والكهربائي وهي التي تدفع التيار خلال أي سلك. ونتيجة لعدم توافر القدر اللازم من الطاقة المفاعلية لدعم المسارات المتغيرة فجائيا للطاقة الكهربائية، فقد انفصلت الخطوط ذات الحمل العالي في الساعة 4:05 بعد الظهر. ونتيجة لذلك تعطلت إحدى محطات التوليد، مما أدى إلى اضطراب في استقرار النظام، ثم انفصال المزيد من الخطوط والمحطات. وقد توالت الأحداث بطريقة أسرع من قدرة المشغلين على التتبع بواسطة أجهزة المراقبة التي يبلغ عمرها عدة عقود والمنتشرة على امتداد شبكة الكهرباء في معظم أمريكا الشمالية؛ كما كانت الأحداث أسرع من قدرتهم على التحكم. وفي خلال ثماني دقائق انقطع التيار الكهربائي عن 50 مليون شخص في ثماني ولايات أمريكية ومنطقتين كنديتين. وكان ذلك أكبر انقطاع للطاقة الكهربائية في تاريخ أمريكا الشمالية.

وكانت كارثة 2003 أيضا مؤشرا. فإنه وخلال شهرين كانت هناك حوادث مماثلة لانقطاع التيار في كل من المملكة المتحدة والدانمرك والسويد وإيطاليا. وفي الشهر 2003/9 كان هناك حوالي 57 مليونا من الإيطاليين من دون كهرباء بسبب التعقيدات في نقل الطاقة من فرنسا إلى سويسرا ومنها إلى إيطاليا. وعلى امتداد أكثر من عقد من الزمن زاد عدد حالات الانقطاع الكهربائي عن أكثر من 50 000 شخص في الولايات المتحدة.

إضافة إلى الإزعاج فإن انقطاع التيار الكهربائي يؤدي إلى خسائر اقتصادية جسيمة. وسوف تسوء الاضطرابات ما لم يتم إصلاح كامل لنظام نقل الطاقة من محطات التوليد إلى المحطات الفرعية المحلية. ولا بد من بناء عدد أكبر من خطوط الضغط العالي لكي يتم مجاراة الطلب المتنامي بسبب زيادة أحمال تكييف الهواء والحواسيب، وكذلك الأجهزة الإلكترونية الحديثة القابلة للشحن.

ولكن ربما من الأهم بكثير أن تكون شبكة الطاقة أكثر ذكاء. فمعظم الأجهزة التي تهتم بسريان الكهرباء يعود تاريخها إلى السبعينات من القرن الماضي، ولذلك فإن نظام التحكم ليس بالجودة التي تمكنه من متابعة الاضطرابات في وقتها الحقيقي ـ وقت وقوعها ـ أو أن يستجيب بطريقة آلية لعزل المشكلات قبل أن تتفاقم. فيجب أن تكون كل نقطة من شبكة الطاقة متيقظة ومستجيبة وعلى اتصال بكل نقطة أخرى. إضافة إلى ذلك فإن المعلومات التي تصل إلى المشغلين في محطات التحكم المركزية ضئيلة ومرت عليها 30 ثانية على الأقل، مما يجعل من المتعذر عليهم الاستجابة بالسرعة الكافية لوقف الاضطرابات المتلاحقة التي توشك على البدء. ولذا فإن شبكة ذكية ذاتية الإصلاح ومتنبهة للاضطرابات المتنامية والتي تستطيع إعادة تشكيل نفسها لحل المشكلة، ستكون قادرة على تقليل الانقطاعات الكهربائية بدرجة كبيرة؛ وستستطيع أيضا احتواء الفوضى التي قد تنشأ نتيجة لعمل تخريبي؛ وستسمح أيضا بنقل الطاقة الكهربائية بطريقة أكثر كفاءة، مما يوافر ملايين الدولارات للمستهلكين ومرافق الكهرباء أثناء التشغيل العادي. وتتوافر التقانة اللازمة لبناء مثل هذه الشبكة الذكية، وقد برهنت العروض الحديثة للمشروعات على جدواها.

إرباك سببه التحديث(*)

لقد أصبح نظام النقل مهددا بانقطاع التيار بسبب المجهود المبذول على امتداد قرن من الزمن لخفض فقد الطاقة فيه. فأثناء مرور الطاقة الكهربائية في سلك فإن جزءا منها يتم فقده على هيئة حرارة. والفقد يتناسب مع قيمة التيار المحمول، لذلك فإن مرافق الكهرباء تعمل على خفض التيار وتعويض ذلك برفع الفلطية (الجهد الكهربائي). كذلك استمرت هذه المرافق في بناء خطوط نقل أطول وذات فلطية أعلى لتوصيل الطاقة الكهربائية بكفاءة عالية من محطات التوليد إلى المستهلكين البعيدين. وتسمح هذه الخطوط ذات الفلطية العالية أيضا لمرافق الكهرباء القريبة بربط شبكاتهم، وبذلك يساعد كل منها الأخرى على المحافظة على توازن حيوي بين التوليد واحتياجات المستهلك.

ولكن مثل هذه الارتباطات قد تؤدي إلى أخطار معينة، منها الانتشار السريع للانقطاع في أحد القطاعات إلى القطاعات الأخرى. وقد دفع الانقطاع الكبير أثناء عام 1965 في الشمال الشرقي من الولايات المتحدة الأمريكية، المرافق إلى تأسيس «هيئة أمريكا الشمالية للموثوقية الكهربائية» (NERC)، وذلك للتنسيق بين الجهود المبذولة بهدف الارتقاء بموثوقية النظام. وتوجد حول العالم هيئات مشابهة (مثل الاتحاد الأوروبي لتنسيق نقل الكهرباء).

لماذا إذًا كانت شبكة الولايات المتحدة معرضة بما فيه الكفاية للانهيار الكبير في عام 2003؟ أحد الأسباب الرئيسية يكمن في عدم توافر الاستثمار في تحسين نظام النقل. فبسبب الارتفاع السريع لأسعار الوقود في السبعينات من القرن الماضي وعدم الحماس المتزايد للطاقة النووية، أقر الكونگرس الأمريكي تشريعا يهدف إلى السماح بالمنافسة في السوق بهدف تحسين الكفاءة. وأدى ما تبع ذلك من قوانين إلى تغيير كاسح في الصناعة وهو الذي صار يعرف باسم إعادة الهيكلة.

(*) Overwhelmed by progress

(1) وتسمى أيضا طاقة (قدرة) غير فعالة. والمفاعلية هنا صفة حالة مفاعلة تحريضية أو مواسعية.
(التحرير)

وقبل بدء إعادة الهيكلة بصورة جدية في تسعينات القرن الماضي، قامت معظم المرافق، كلٌ في منطقته، بإجراء جميع المهام الثلاث التالية: توليد الطاقة في محطات توليد كبيرة ونقلها إلى المحطات الفرعية بواسطة خطوط الفلطية العالية، ويلي ذلك توزيعها على المستهلكين عن طريق خطوط ذات فلطية أقل. ويوجد حاليا العديد من منتجي الطاقة الذين يبيعونها لمستهلكين على مسافات بعيدة أو قريبة من خلال خطوط نقل غير مملوكة لهؤلاء المنتجين. وفي الوقت نفسه، قامت بعض المرافق ببيع أجزاء منها بتشجيع من اللجنة الفدرالية التنظيمية للطاقة بهدف تكوين المزيد من المنافسة. وبالتدريج أصبح موضوع نقل الطاقة خليطا محيرا من خدمات منظمة وأخرى غير منظمة، حيث تقوم شركات مختلفة بالتحكم في أجزاء متناثرة من الشبكة.

والآن عرف المستثمرون مدى جاذبية توليد الطاقة، التي تعتبر حاليا وفي الغالب غير منتظمة. ولكن ما يثير قلق المستثمرين هو عدم وضوح مصير نظام نقل الطاقة لكونه غير منظم جزئيا فقط (عملية تنظيم مجال التوزيع مازالت في مراحلها الأولى). وفي هذه الأثناء وعلى الرغم من أن توجيه نقل الطاقة قد تم في الماضي، فإنه منذ تسعينات القرن الماضي قد تم نقل كميات أكبر من الطاقة عبر مسافات بعيدة. ونتيجة لذلك تتم عمليات نقل كبيرة عبر خطوط نقل تم بناؤها منذ عدة عقود بواسطة مرافق الكهرباء في الغالب للاستخدام على النطاق المحلي.

إن التشريع الفدرالي المقترح قد يشجع على زيادة الاستثمار، ولكن حتى في حالة زيادة سعة النقل فإن الانقطاعات الكهربائية سوف تستمر في الحدوث. إن من اللازم إعادة تجهيز شبكة الطاقة بالكامل، لأن التقانات الحالية للتحكم التي لها دور أساسي في سرعة استشعار فشل أحد الخطوط الصغيرة أو احتمال حدوث حالة كبيرة من عدم الاتزان، قد أصبحت من طراز عتيق. ولكي تستمر الشبكة في حالة يعتمد عليها يجب أن تعمل بطريقة شبيهة بعمل الطائرة الحربية، التي تطير في معظم الوقت باستخدام أنظمة مستقلة، بحيث يستطيع المتحكم البشري أخذ زمام السيطرة عند الحاجة لتفادي كارثة.

الحاجة إلى السرعة[**]

تجهز الطائرات الحربية الحديثة بأجهزة قيادة متقدمة تمكن الطيار من الاعتماد على شبكة من أجهزة الاستشعار والتحكم الآلي التي تجمع المعلومات بسرعة وتتصرف على أساسها. ولحسن الحظ، فإن التطورات الحديثة في البرامج والأجهزة الحاسوبية المطلوبة لتشغيل الشبكة الكهربائية بطريقة مشابهة ولتغيير مسارات سريان الأحمال بسرعة آنية وكذلك لإغلاق محطات التوليد، متوافرة بالفعل.

ومع ذلك فإن عملية إعادة تشكيل نظام متشابك تعتبر تحديا كبيرا. فمعظم محطات التوليد وخطوط النقل تتم مراقبتها بواسطة نظام إشرافي للتحكم وتجميع البيانات (SCADA). ويقوم هذا النظام الذي يحتوي على أجهزة استشعار ومتحكمات بسيطة بثلاث وظائف حيوية هي: تجميع البيانات والتحكم في محطات التوليد وعرض الإنذار وكذلك السماح للمشغلين الموجودين في محطات التحكم الرئيسية بالقيام بأعمال معينة، مثل فتح قاطع التيار أو غلقه. ويراقب النظام SCADA المفاتيح والمحولات وأجزاء من أجهزة صغيرة تعرف باسم متحكمات منطقية قابلة للبرمجة، وأيضا **وحدات الأطراف البعيدة** remote terminal units والموضوعة في محطات التوليد والمحطات الفرعية وتقاطعات خطوط النقل والتوزيع. ويقوم النظام بإرسال المعلومات أو الإنذارات إلى المشغلين عبر قنوات الاتصالات.

ولكون النظام SCADA يرجع إلى 40 عاما مضت، فإن جزءا كبيرا منه بطيء في التعامل مع تحديات الحاضر ولا يقوم بالاستشعار أو التحكم بدرجة كافية في المكونات على امتداد الشبكة. ومع أنه يسمح ببعض التنسيق في النقل بين المرافق، فإن هذه العملية بطيئة ومتعثرة لدرجة كبيرة، ومازال معظمها يتم على أساس مكالمات هاتفية بين المشغلين البشريين في مراكز التحكم للمرافق ولاسيما أثناء الطوارئ. إضافة إلى ذلك، فإن معظم المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة ووحدات الأطراف البعيدة تم تطويرها قبل إرساء المواصفات الخاصة بالقدرة على **التشغيل البيني** interoperability في جميع النشاطات الصناعية، ولذلك نرى المرافق المتجاورة غالبا ما تستعمل برامج غير متوافقة. وتقترب المرافق باستمرار من حافة مجال الاتزان باستخدام أنظمة التحكم التي كانت تتبع في ستينات القرن الماضي.

شبكة ذكية ذاتية الإصلاح[***]

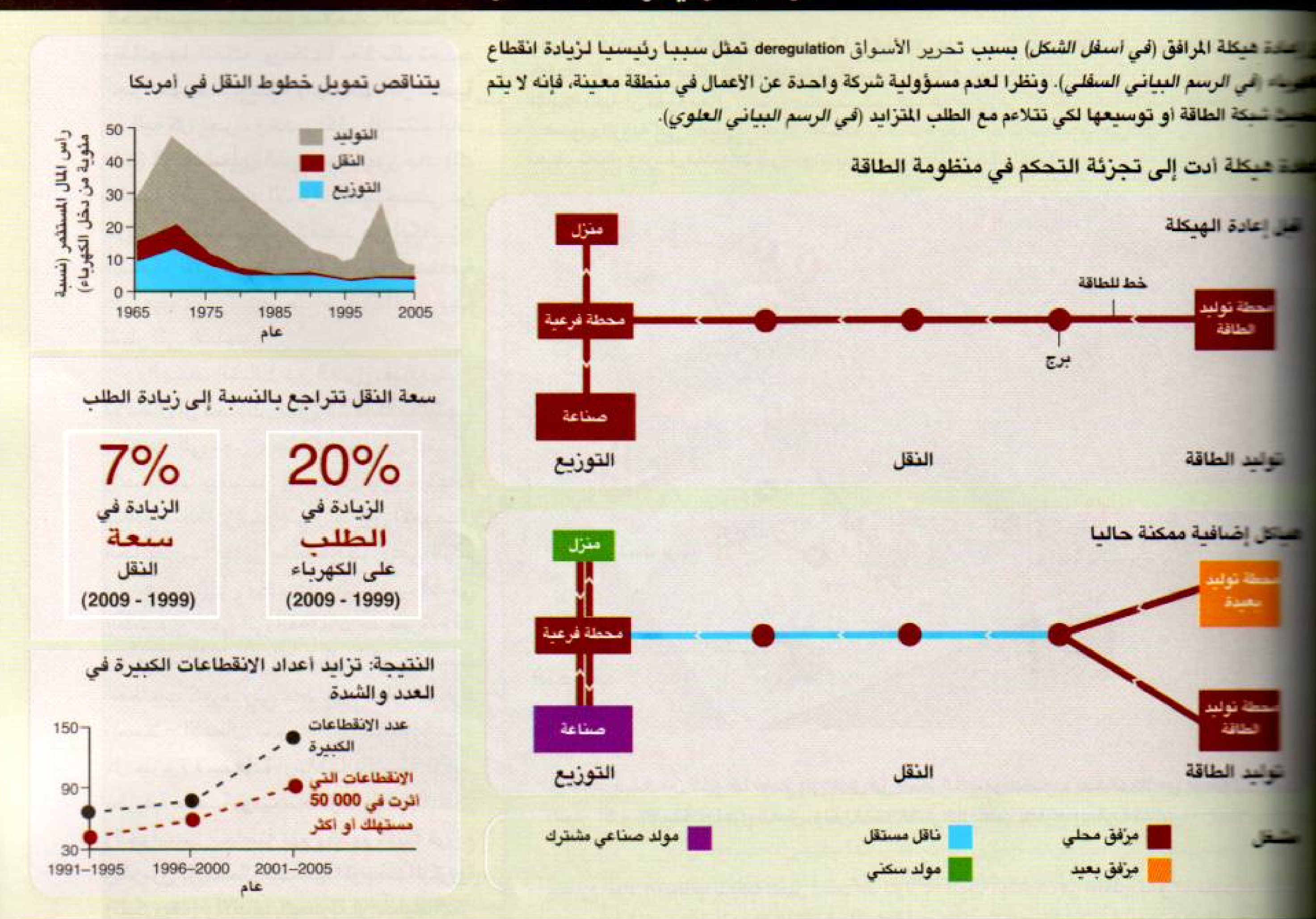
وتكون النتيجة ألا يستطيع أي مشغل بمفرده أو **مرفق** utility القيام **بتركيد**[1] أو عزل عطل في النقل الكهربائي. وتتطلب

نظرة إجمالية/ شبكة ذكية[*]

- **لعقود من الزمن، زاد الطلب على الكهرباء باطراد، ومع ذلك لم تتم أي إضافات أو تحديث بنفس المعدل لخطوط النقل التي تقوم بنقل الطاقة من محطات التوليد إلى المستهلكين. ونتيجة لذلك أصبحت الشبكة محملة أكثر من المسموح به، مما يجعلها عرضة لانقطاعات الكهرباء التي زادت عددا وشدة، وأدى ذلك إلى خسارة اقتصادية سنوية للولايات المتحدة تزيد على 70 بليون من الدولارات.**
- **وحتى في وجود عدد أكبر من خطوط النقل هناك حاجة إلى شبكة ذكية قادرة على إصلاح نفسها بنفسها وعلى الاستشعار المبكر بالمشكلات المحلية وعلى القيام تلقائيا بإصلاحها أو عزلها قبل أن يزداد حجمها، وهذا يمنع حدوث الانقطاعات المتتالية للطاقة التي تسبب انقطاعات الكهرباء.**
- **لا بد من تزويد كل خط من خطوط النقل وكل محطة فرعية وكل محطة توليد وكذلك كل مركز من مراكز التشغيل، بأجهزة المتحكمات الرقمية وأجهزة الاتصالات الفورية.**
- **تحتاج مراكز التشغيل، كذلك إلى أجهزة حاسوبية وبرامج مُجددة تمكن القائمين على التشغيل من التحكم في الشبكة الذكية المشغلة آليا وذلك بطريقة يدوية إذا بدأ الانقطاع بالظهور بصورة أو بأخرى. ويحتاج القائمون على التشغيل كذلك إلى تدريب أفضل لمعرفة كيفية التصرف بسرعة.**

(*) Overview / Smart Grid
(**) A Need for Speed
(***) The Self-Healing Smart Grid
(1) stabilize

المشكلة: كثرة المشاركين وقلة الاستثمارات(*)



إدارة آنية لشبكة حديثة مزيدا من المراقبة الآلية وقدرا أكبر من التعامل المتبادل بين المشغلين البشريين والأنظمة الحاسوبية وشبكات الاتصالات وأجهزة الاستشعار التي تقوم بتجميع البيانات، والتي يجب أن يتم نشرها في كل مكان داخل محطات التوليد والمحطات الفرعية. ويتطلب التشغيل الذي يمكن الاعتماد عليه أيضا وصلات للاتصالات ذات اتجاهين وذات معدل عال لنقل البيانات فيما بين هذه النقاط؛ إضافة إلى أنظمة حاسوبية قوية في مركز التحكم، وهذا غير موجود حاليا. كذلك يجب توزيع حواسيب ذكية على امتداد الشبكة يمكنها، بطريقة تلقائية، أن تعيد تشكيل سريان الطاقة عند الاستشعار ببدء الانقطاع.

يبدأ إطلاق الشبكة بنوع مختلف من تصميم النظام. فقد توصلت الأبحاث الحديثة في مجالات عدة، بما فيها الأنظمة الديناميكية اللاخطية والذكاء الصنعي **ونظرية المباريات** game theory وهندسة البرمجيات إلى نظرية عامة حول كيفية تصميم أنظمة مركبة يمكنها التكيف مع الظروف المتغيرة. وتقدم تقنيات الرياضيات وطرق الحوسبة إلى هذا التخصص الناشىء أدوات جديدة لمهندسي الشبكات. إن فرق العمل في الصناعة ـ بما فيها مجموعة تدار بواحد منا (أمين) عندما كان يعمل في معهد أبحاث الطاقة (EPRI) بپالوألتو في كاليفورنيا ـ قد اقترحت أنظمة مركبة ذاتية التكيف لشبكات الطاقة الإقليمية الكبيرة. وعلى نطاق تجريبي قام العديد من **المرافق**[1] بنشر وحدات ذكية للأطراف البعيدة ومتحكمات قابلة للبرمجة، يمكنها ذاتيا تنفيذ سيرورات بسيطة لا تحتاج إلى مراجعة مشغل بشري، أو يمكن إعادة برمجتها عن بعد بواسطة المشغل. وهناك حاجة إلى تنفيذ ذلك على نطاق أوسع.

وأفضل طريقة لبناء شبكة ذكية هي أن يحاول مصمموها تلبية ثلاثة أهداف أولية. وأهم هذه الأهداف هو القدرة على المراقبة والاستجابة الآنية. وستقوم مجموعة من أجهزة الاستشعار بمراقبة الكميات الكهربائية كالفلطية والتيار وحالة المكونات الحيوية. وباستعمال هذه القياسات، سيتمكن النظام من ضبط نفسه باستمرار للوصول إلى الحالة المثلى.

والهدف الثاني هو الترقب أو التوقع. فلابد أن يقوم النظام بالبحث بشكل مستمر عن مشكلات محتملة يمكن أن تسبب اضطرابات أكبر، مثل محول يعاني زيادة غير

(*) THE PROBLEM: TOO MANY PLAYERS, TOO LITTLE INVESTMENT

(1) ج: مرفق utility.

مسموحة في درجة الحرارة. حينئذ تقوم الحواسيب بتقييم علامات الاضطراب ونتائجها الممكنة. ويمكنها بعد ذلك تحديد إجراءات تصحيحية وتجربتها من ناحية فعالية كل إجراء وتقديم أكثر الاستجابات فائدة إلى المشغلين الذين يستطيعون بعد ذلك الإسراع في تنفيذ الإجراء التصحيحي عن طريق الاستفادة من العديد من إمكانيات التحكم الآلي في الشبكة. وتطلق الصناعة على هذه القدرة مصطلح محاكاة سريعة للنظر إلى الأمام.

والهدف الثالث هو العزل. فإذا كان للأعطال أن تحدث، فإن الشبكة بكاملها ستتجزأ إلى «جزر» منعزلة ينبغي أن تهتم كل واحدة منها بنفسها. وتقوم كل جزيرة بإعادة تنظيم محطات التوليد وسريان الأحمال الخاصة بها بقدر استطاعاتها. وعلى الرغم من احتمال أن يؤدي ذلك إلى تغيرات في الفلطية أو حتى إلى انقطاعات صغيرة، فقد يمنع ذلك الأحداث المتتالية التي تسبب انقطاعات كبيرة. وفي حين يقوم عمال الخطوط بإصلاح الأعطال، يقوم طاقم التحكم بإعداد كل جزيرة لاستعادة ارتباطها بالشبكة الأكبر بطريقة سلسة. وسيتصرف طاقم التحكم والحواسيب الخاصة بهم وكأنهم شبكة توزيع ويقومون بالاتصال بوساطة الموجات الميكروية (الميكرويف) والألياف البصرية أو خطوط النقل نفسها. وبمجرد استعادة سريان الطاقة الكهربائية سيبدأ النظام عملية الوصول ذاتيا إلى الوضع الأمثل.

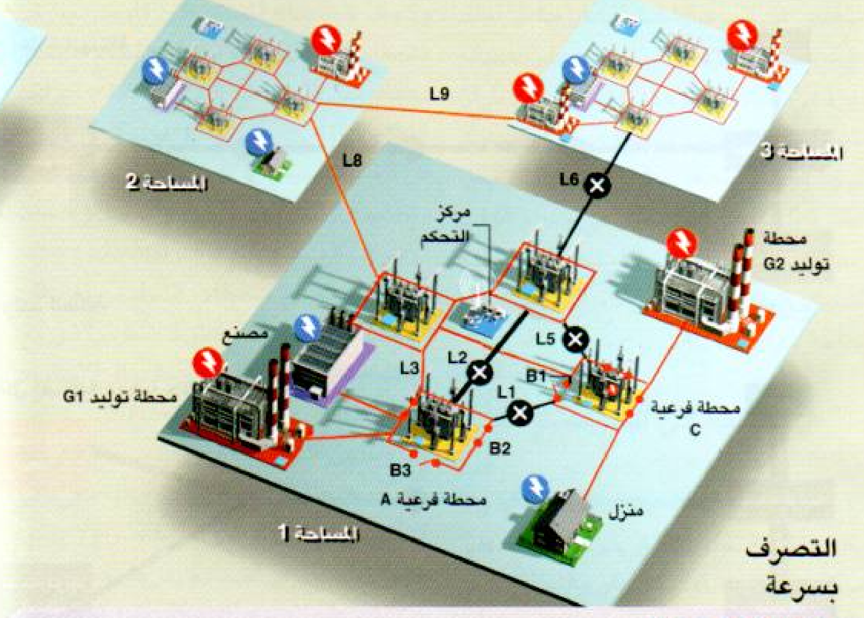
ولتحويل البنية التحتية الحالية إلى هذا النوع من الشبكة الذكية الذاتية الإصلاح، يجب أن يتم نشر ومكاملة تقانات متعددة. وتتمثل الخطوة الأولى في بناء معالج بداخل كل مفتاح أو قاطع أو محول أو **نقطة تجميع** Bus Bar، وهي الموصلات الكبيرة التي تحمل الكهرباء بعيدا عن المولدات. ويجب تجهيز كل خط نقل **بمعالج** processor له القدرة على التواصل مع المعالجات الأخرى: كل منها يتابع نشاط القطعة المعينة المسؤول عنها، وذلك عن طريق أجهزة استشعار للمراقبة تمت إضافتها إلى الأنظمة الخاصة بها.

وحالما تتم مراقبة كل جهاز، يجب حينها الاستعاضة عن ملايين المفاتيح الكهرميكانيكية المستخدمة حاليا بدوائر **الحالة الصلبة** solid-state و**القدرة الإلكترونية** power - electronic، وهي نفسها يجب تقويتها لتتحمل أعلى فلطية نقل: 345 كيلوفلط وأكبر من ذلك. وهذا التحسين من الأجهزة التماثلية إلى الأجهزة الرقمية سيسمح بالتحكم الرقمي لكامل الشبكة، وهي الطريقة الوحيدة لتنفيذ المراقبة الذاتية والإصلاح الذاتي في الزمن الفعلي.

إن الانتقال الكامل يتطلب كذلك تحويل خطوط التوزيع الصغيرة ذات الفلطية المنخفضة والتي تغذي كل منزل ومؤسسة، إلى رقمية. إن مفتاح الحل هو الاستعاضة عن عدّاد القدرة الذي عمره عقود ويعتمد على التروس الدوّارة، بعدّاد رقمي يستطيع اقتفاء أثر التيار الداخل إلى مبنى وكذلك اقتفاء أثر التيار المرسل إلى الخارج. وهذا يسمح لمرافق الكهرباء بتقدير أفضل لكمية الطاقة والطاقة المفاعلية التي تنساب من المنتجين المستقلين راجعة إلى الشبكة. وسيسمح ذلك أيضا لمرفق الكهرباء باستشعار الاضطرابات المحلية الصغيرة، مما يمكن من تقديم إنذار مبكر عن المشكلات التي يمكنها أن تتفاقم، مما يحسن

الحل: شبكة ذكية ذاتية الإصلاح(*)

تخيل أن عاصفة رعدية ضربت الخطين L5 و L6. مثل هذا الحدث يؤدي عادة إلى سلسلة من ردود الأفعال على هيئة أعطال في الخطوط قد تتسبب بانقطاع الكهرباء في المساحة رقم 1. ولكن يمكن لشبكة ذكية أن تقوم بعزل المشكلة وتصحيحها كما هو مبين في الأسفل. يبدأ الإجراء بقيام حاسوب الرؤية إلى الأمام في مركز التحكم بمحاكاة إجراءات تصحيحية في أقل من نصف ثانية، ويرسل تعليمات إلى حواسيب التحكم على امتداد الشبكة.



التصرف بسرعة

0.04 ثانية بعد ذلك

إن خسارة الخطين L5 و L6 تؤدي إلى عطل في الخط L1. يأمر حاسوب التحكم كلا من قواطع التيار B1 و B2 بالفتح لعزل العطل، ولكن قاطع التيار B2 يفشل بالفتح ويبقى مقفلا.

0.1 ثانية

يتسارع المولد G1 تلقائيا لتغطية الحمل بسبب فقد المولد G2 نتيجة للمشكلات في الخطين L5 و L1. المولد G1 يتسارع أيضا لكي يحاول أن يجعل الفلطية في المساحة 1 عند التردد المطلوب 60 هرتز (ذبذبة في الثانية).

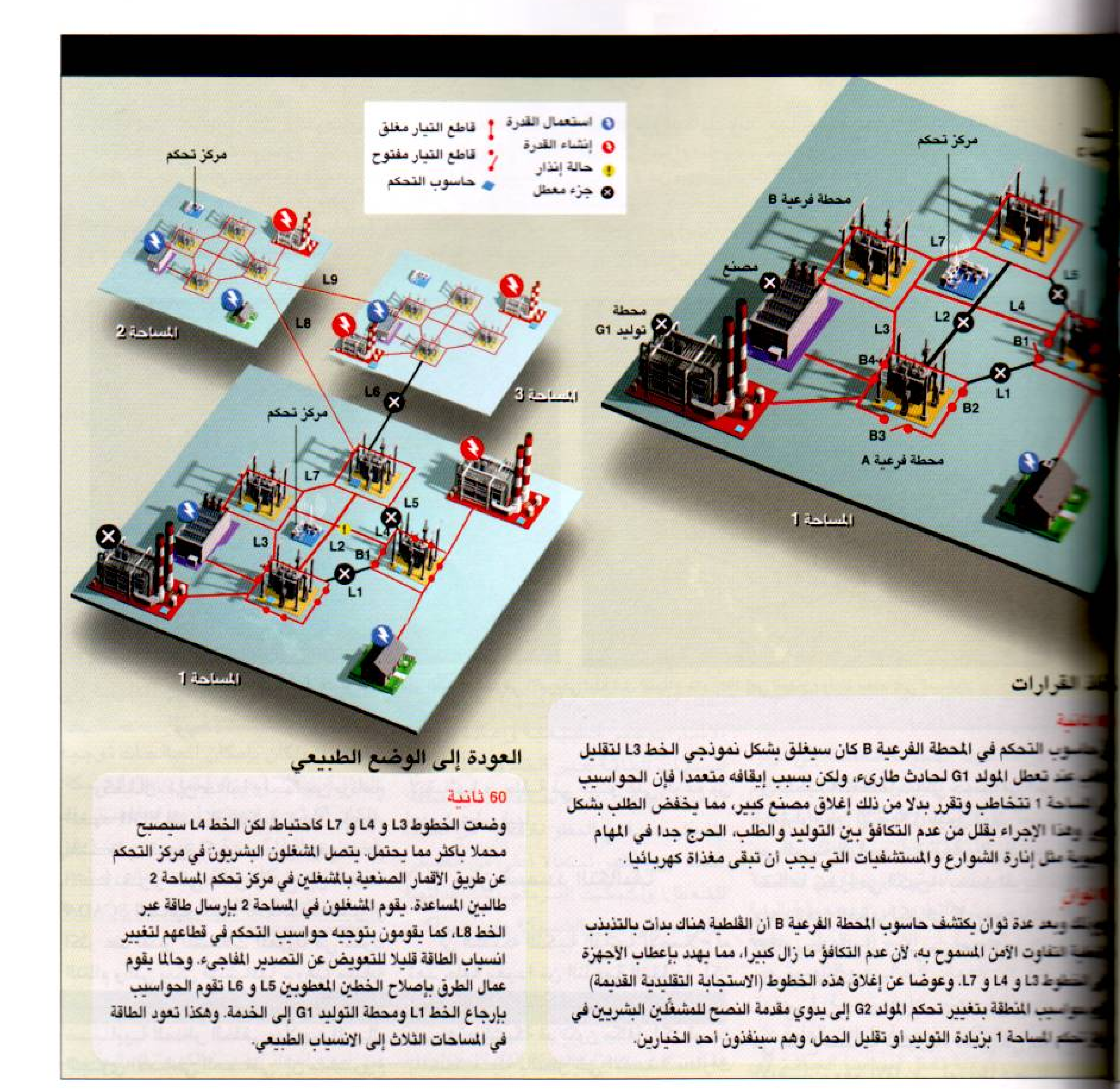
0.4 ثانية

يطلب حاسوب المحاكاة والتحكم في المحطة الفرعية A من قاطع التيار B3 أن يفتح، وذلك لحماية المحطة الفرعية من الضرر نتيجة لمرور تيار كبير فيها. يفتح قاطع التيار B3 فاصلا بذلك الخط L2. يستمر المولد G1 في مزيد من التسارع للتعويض.

0.5 ثانية بعد ذلك

يقوم مركز التحكم بفصل المولد G1 لمنع الضرر عنه بسبب التسارع المرتفع.

(*) THE SOLUION: A SMART GRID THAT HEALS ITSELF



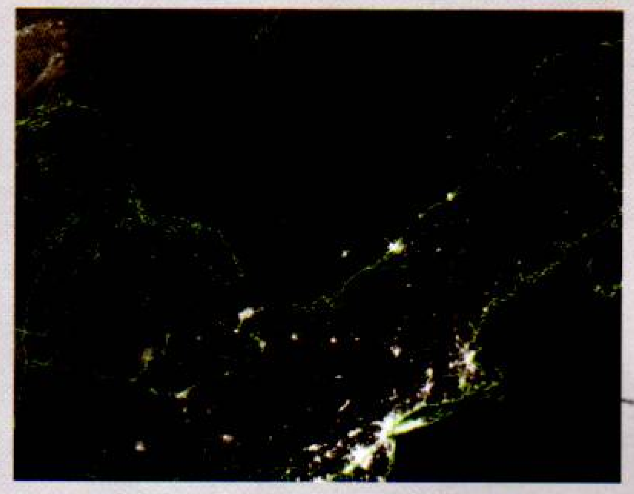
من محاكاة النظر للأمام. وسيسمح هذا لمرافق الكهرباء بأن تقدم للزبائن رسوما تتغير من ساعة إلى أخرى تتضمن حوافز لتشغيل الأجهزة والآلات في أوقات غير الذروة والتي ربما تختلف من يوم لآخر، مما يقلل القفزات في الطلب التي يمكن أن تجعل الشبكة غير مستقرة. إن بوابة الطاقة الرقمية هذه ليست كالعدّاد فهي تسمح للمعلومات عن الشبكة بأن تنساب ذهابا وإيابا مع تجاوب المستهلكين للتغييرات في الأسعار. والبوابة هي أداة للانتقال إلى ما بعد نموذج سلعة توصيل الكهرباء إلى عهد جديد من خدمات متعددة للطاقة مشابه لما هو حاصل اليوم في السوق الديناميكي للاتصالات.

إن مشروع المعهد EPRI لتصميم نموذج أولي للشبكة الذكية، والذي يطلق عليه مبادرة **شبكات الأنظمة التفاعلية المركبة**[1]، قد تم تنفيذه في الفترة 1998 - 2002 بمشاركة مجموعة باحثين مكونة من ست جامعات وشركتين للطاقة ووزارة الدفاع الأمريكية. وقد دفع ذلك للبدء بعدة جهود لاحقة وحالية في وزارة الطاقة الأمريكية ومؤسسة العلوم الوطنية ووزارة الدفاع والمعهد EPRI نفسه لتطوير نظام عصبي مركزي للشبكة الكهربائية. ويُظهر هذا العمل بالإجمال أن الشبكة يمكن أن تعمل قريبا من حدود الاستقرار مادام المشغلون يمتلكون باستمرار معلومات عما يجري في كل مكان. وسيتمكن المشغل من مراقبة كيفية تأثير الطقس فيه، وسيحصل على شعور قوي عن أفضل كيفية في المحافظة على التوازن ثانيةً بثانية بين الحمل (الطلب) والتوليد.

(1) Complex Interactive Networks Systems/ Initiative

العامل البشري(*)

عندما يبدأ الانقطاع المحلي بالتزايد أكثر من قدرة الشبكة الذكية على إبقائه آليا تحت السيطرة، يقوم المشغلون البشريون في غرف تحكم المناطق بقطع سلسلة ردة الفعل. ولعمل ذلك فهم يحتاجون إلى معلومات على مدار الثانية ومعلومات كاملة عن الشبكة وبرامج حاسوبية متوائمة وإجراءات استجابة مفروضة سلفا وتدريب متين. وجميع هذه المتطلبات كانت مفتقدة عندما بدأ الانقطاع الضخم في أمريكا عام 2003 بالتزايد، كما يوضح الحوار أثناء الدقائق الأولى للحدث (*أجزاء منه موضحة في الأسفل*). فتسجيلات المحادثة المنشورة عن مجلس أمريكا الشمالية للاعتماد الكهربائي كانت بين متحكمي الاعتماد في المناطق القريبة الذين كانوا يحاولون مساعدة بعضهم على إجراء توازن في انسياب الطاقة وهو الذي كان يتجه إلى الخروج عن السيطرة.





صور بالأقمار الصنعية (السواتل)، تظهر الشمال الشرقي الأمريكي ليلة قبل انقطاع عام 2003 (*في اليمين*) وليلة بعده (*في اليسار*).

وكمثال، فإن جانبا واحدا من برنامج المعهد EPRI للشبكة الذكية يتمثل بإعطاء المشغلين قدرة أكبر على توقع عدم الاستقرار على نطاق واسع. إن أنظمة SCADA الحالية لديها 30 ثانية تأخير أو أكثر عند تقدير المشكلات المعزولة في سلوك النظام والتي يمكن اكتشافها - وهذا مشابه لقيادتنا طائرة، ناظرين من خلال مرآة ضبابية للمنظر الخلفي بدلا من المجال الجوي الأمامي الصافي. إن مشروع المحاكاة السريعة والنمذجة في المعهد EPRI يتطور بشكل أسرع من محاكاة النظر للأمام في الزمن الفعلي في توقع المشكلات - وهذا مشابه للاعب شطرنج بارع يقوم بتقييم الخيارات المتاحة لعدة نقلات مستقبلية. إن هذا النوع من النمذجة الذاتية للشبكة أو الوعي الذاتي سيجنب الاضطرابات عن طريق إجراء تحليلات من نوع ماذا-لو. وسيساعد هذا أيضا على إصلاح ذاتي للشبكة والتكيف مع الحالات الجديدة بعد انقطاع الكهرباء أو هجوم عدائي، كما تفعل طائرة حربية عند إعادة ترتيب أنظمتها لإبقائها محلقة في الجو على الرغم من حدوث عطب فيها.

من سيسدد التكاليف(**)

إن الشبكة الذكية الذاتية الإصلاح لم تعد حلما بعيدا من الناحية التقانية. لكن إيجاد التمويل اللازم لبنائها أمر آخر.

وهذه الشبكة قد تكون مكلفة، لكن ليست بالمستحيلة بالنظر إلى الاستثمارات التاريخية. ويقدر المعهد EPRI تكلفة الفحص والتمديد من خلال نظام النقل والتوزيع الأمريكي بأكمله ما قد يصل إلى 13 بليون دولار أمريكي في السنة ولمدة عشر سنوات - ويعادل هذا أكثر من 65% مما تستثمره حاليا صناعة الكهرباء في العام الواحد. وتتنبأ دراسات أخرى بأن التكلفة قد تصل إلى 10 بلايين دولار أمريكي في السنة ولمدة عقد أو أكثر. ويجب أن تصرف الأموال كذلك على تدريب العنصر البشري المتمثل بالمشغلين. إن التكاليف تبدو عالية، لكن التقديرات تشير إلى أن الخسائر الاقتصادية من جميع الانقطاعات التي حدثت في أمريكا قد تراوح بين 70 و 120 بليون دولار أمريكي في السنة الواحدة. وعلى الرغم من أن انقطاعا كبيرا في الكهرباء يحدث تقريبا مرة واحدة في العقد، لكن في كل يوم هناك 500 000 مستهلك أمريكي من دون كهرباء لمدة ساعتين أو أكثر.

ومن سوء الحظ أن دعم البحث والتطوير في قطاع صناعة الكهرباء متدن في جميع الأوقات، وهو الأقل في أي قطاع صناعي رئيسي باستثناء العجائن والورق. ويعتبر إيجاد الدعم تحديا ضخما لأنه يجب على مرافق الكهرباء أن تفي بالطلب المتزايد من جانب الزبائن والمشرعين، وفي الوقت نفسه تكون متجاوبة مع مالكيها الذين يميلون إلى الحد من الاستثمارات للحصول على عائدات في مدى قصير.

وهناك عوامل أخرى يجب أخذها بالحسبان: ما مستوى التهديد الإرهابي الذي تكون صناعة الكهرباء مسؤولة عنه.

(*) THE HUMAN FACTOR
(**) Who Should Pay



الباحثون في مختبر شمال غرب الباسفيكي الوطني يجلسون في محاكي مركز تحكم إقليمي، ويقومون بفحص نموذج أولي لبرنامج حاسوبي يستطيع أن يقدم للمشغلين البشريين معلومات عن الشبكة في الزمن الفعلي، وهي معلومات ضرورية لإيقاف الانقطاعات الناشئة حديثا قبل انتشارها.

وما الذي يجب أن تغطيه الحكومة؟ إذا كان ارتفاع الرسوم أمرا غير مرغوب فيه، فكيف يمكن حينئذ السماح لمرفق الكهرباء بتوفير الأموال اللازمة له؟ إن تحسين البنية التحتية للطاقة يتطلب التزامات طويلة المدى من جانب مستثمرين صبورين؛ كما يجب على جميع القطاعات، الخاص منها والعام، ذات الصلة أن تعمل متعاضدة معا.

وربما تدرك الحكومة الحاجة إلى قرار. إن مكتب البيت الأبيض لسياسة العلوم والتقانة ووزارة الأمن الوطني أعلنتا مؤخرا عن «بنية تحتية ذاتية الإصلاح» كواحد من ثلاثة طموحات استراتيجية في خطتها الوطنية للبحث والتطوير في دعم حماية البنية التحتية الحيوية. إن الإشراف الوطني حاجة ماسة: لأن الغياب الحالي في التنسيق عند اتخاذ القرار يعتبر عقبة رئيسية. إن حقوق الولايات وقوانين مفوضية المرافق العامة على مستوى الولاية تقتل أساسا الحافز لأي مرفق كهرباء أو مجموعة مرافق لقيادة الجهود على مستوى الدولة. وعلى ذلك فإنه ما لم يتم تكوين تعاون على مستوى الولايات كافة، فإن التأميم الاجباري لصناعة الكهرباء هو الطريق الوحيد لإنجاز شبكة ذكية.

إن الخطورة تكمن في مقدرة البنى التحتية الحيوية للدولة على الاستمرار في العمل بموثوقية وأمان. وعلى الأقل فإن نظام النقل الذاتي الإصلاح سيقلل من تأثير أي نوع من المحاولات الإرهابية لقطع شبكة الكهرباء. إن تأثيرات القطع يمكن تلافيها أو تقليلها ويمكن احتواء التخريب ويمكن تقليل الانقطاعات ويمكن إيصال الكهرباء للجميع بكفاءة أعلى.

لو أن الشبكة الذكية الذاتية الإصلاح كانت موجودة عندما فشل الخط المحلي بأوهايو في الشهر 2003/8، لكانت الأحداث قد تكشفت بطريقة مختلفة تماما، فمعدات توقع العطب الموجودة على أحد طرفي خط النقل المقطوع كان بإمكانها اكتشاف الإشارات غير الطبيعية وإعادة توجيه انسياب الطاقة عبر الخط وحوله لعزل الاضطراب قبل عدة ساعات من تعطله؛ ولتمكن **محاكي النظر للأمام**[1] من تعرف الخط الذي يُظهر احتمالا أعلى من الطبيعي للتعطل؛ ولتمكنت البرمجيات الذاتية الإدراك على طول الشبكة وفي مراكز التحكم من تشغيل سيناريوهات التعطل لتحدد الاستجابة التصحيحية المثالية؛ ولتمكن المشغلون من الموافقة وتنفيذ التغييرات الموصى بها. وعلى كل حال، لو أن الخط تعطل بطريقة ما لاحقا لتمكنت دائرة الاستشعار من اكتشاف تذبذب الفلطية، وقامت بتوصيل المعلومة إلى **المعالجات** processors في المحطات الفرعية القريبة؛ ولكان بإمكان المعالجات توجيه الطاقة خلال أجزاء أخرى من الشبكة؛ ولكان أكثر ما يمكن أن يراه المستهلك ضمن منطقة كبيرة هو تذبذب وجيز في الإضاءة، وما كان الكثير من الناس ليشعر بأي مشكلة على الإطلاق. ■

(1) look-ahead simulator

المؤلفان

Massoud Amin - Phillip F. Schewe

هما من المروجين لمزايا الشبكة الذكية لسنوات. ‹مسعود أمين› أستاذ للهندسة الكهربائية والحاسوب بجامعة مينيسوتا ومدير مركز الجامعة لتطوير القيادة التقانية، وعندما كان يعمل في معهد أبحاث الطاقة الكهربائية في پالو ألتو بكاليفورنيا كان قائدا لتطوير ما يزيد على عشرين من التقانات المتقدمة ووضع أساسيات «الشبكة الذاتية الإصلاح»، وهو اصطلاح قام هو أيضا بابتكاره. وأما ‹شيوي› فهو كبير كُتّاب العلوم في المعهد الأمريكي للفيزياء، ويقوم بتحرير النشرة الأسبوعية للمعهد Physics News Update .

مراجع للاستزادة

Technical Analysis of the August 14, 2003, Blackout: What Happened, Why, and What Did We Learn? North American Electric Reliability Council, 2004. Available at www.nerc.com/~filez/blackout.html

Toward a Smart Grid: Power Delivery for the 21st Century. Massoud Amin and Bruce F. Wollenberg in *IEEE Power and Energy Magazine,* Vol. 3, No. 5, pages 34–41; September/October 2005.

The Grid: A Journey through the Heart of Our Electrified World. Phillip F. Schewe. Joseph Henry Press, 2007.

Scientific American, May 2007

رسم خارطة للجينوم السرطاني(*)

إن تحديد الجينات المسببة للسرطان سوف يساعد على إيجاد سبل جديدة عبر المجال المعقد للسرطانات البشرية.

<S .F. كولينز> ـ <A .D. باركر>

«من الضروري التركيز على الجينوم الخلوي(1) إن أردنا بالفعل أن نعلم أكثر عن السرطان.» وقد ذكر ذلك <ريناتو دولبّيكو> [الحائز على جائزة نوبل قبل أكثر من عشرين عاما] في واحدة من أولى المقالات التي دعت إلى إقامة ما يسمى **مشروع الجينوم البشري**(2). وقد أعلن <دولبيكو> [وهو أحد الباحثين الرواد في السرطان]، في مجلة **ساينز** *Science* عام 1986 «أن العالم الآن على منعطف في هذا المجال.» وقد أوضحت الاكتشافات السابقة بصورة واضحة أن أغلب الخلل السلوكي الذي أظهرته الخلايا السرطانية نابع من التلف الذي يصيب الجينات المختلفة وما يتبع ذلك من تغير في وظائفها. ويقول <دولبيكو>: «إننا أمام خيارين: إما محاولة اكتشاف الجينات المهمة في **الخباثة**(3) السرطانية بمقاربة متدرجة أو القيام بتحديد التسلسل الجيني للجينوم بأكمله.

إن <دولبيكو> وآخرين في الجماعة العلمية تمكنوا من فهم حقيقة أن تحديد التسلسل الجيني للجينوم البشري، رغم كونه إنجازا عظيما في حد ذاته، لا يعدو كونه الخطوة الأولى على طريق البحث المؤدي إلى المعرفة الكاملة للأسباب البيولوجية للسرطان. والآن بعد النجاح في الوصول إلى التسلسل الكامل **للقواعد النكليوتيدية**(4) في الحمض النووي الطبيعي للإنسان، فإن العلماء في حاجة إلى القيام بتصنيف الجينات البشرية المختلفة طبقا لوظائفها، مما قد يساعد على كشف الدور الذي تؤديه الجينات في السرطان. وبذلك تكون قد تحققت رؤية <دولبيكو> على مدى عقدين من الزمن. وفي خلال فترة زمنية لم تتعد الثلاث سنوات بعد استكمال مشروع الجينوم البشري، بدأت الهيئات القومية للصحة بتبني المرحلة التجريبية بصورة رسمية، وذلك لعمل كتالوگ توضيحي يبين التغيرات الجينية في حالات السرطان، سُمي أطلس الجينوم السرطاني (TCGA).

إن السبب الرئيسي وراء الاهتمام بهذا العمل على نطاق بيولوجي واسع وبصورة ملحة وعاجلة هو الزيادة الواضحة في مداهمة السرطان للصنف البشري؛ فأكثر من 1500 أمريكي يموتون يوميا من السرطان، أي بمعدل شخص واحد كل دقيقة. ومن المنتظر أن يتزايد هذا المعدل بصورة مطردة مع مرور الزمن، ما لم يحاول الباحثون اكتشاف بعض نقاط الضعف في الخلايا السرطانية وإيجاد الخطط الملائمة لمهاجمة هذه الأهداف.

وللنجاح في هذا المضمار، يتطلب تسويغُ مشروع بحث بهذا الحجم أكثرَ من الرغبة في الحد من معاناة البشر. فعند تطبيق هذا المشروع على 50 من أكثر أنواع السرطان انتشارا، فإن هذا المجهود البحثي يعادل ما يقرب من عشرة آلاف مشروع جينوم بشري إذا أخذ في الاعتبار محض حجم **الدنا** DNA الذي سيسلسل.

جينات مريضة(***)

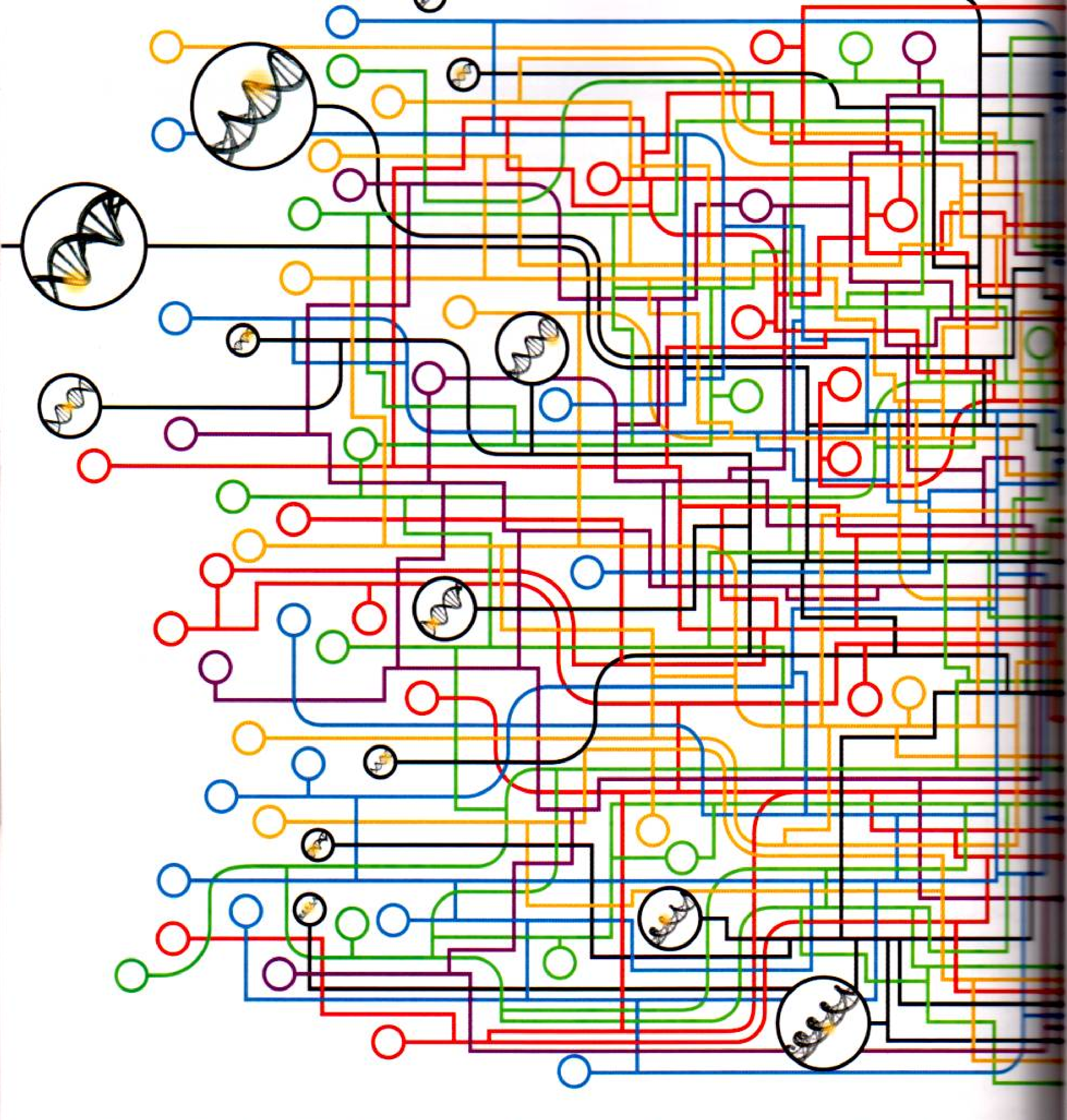
إن الفكرة القائلة بأن التغيرات التي تطرأ على الجينوم الخلوي، تكمن في وسط جميع أشكال السرطان، ليست بالفكرة الجديدة. فمنذ اكتشاف جينة بشرية مشيّعة للورم السرطاني عام 1981، والمسماة **أنكوجينة** oncogene، صار العلماء أكثر يقينا بأن السبب الأولي للإصابة بالسرطان هو حدوث طفرات في جينات معينة، نتيجة للتعرض للسموم أو الإشعاع أو عن طريق عمليات تصحيحية خاطئة للدنا DNA أو نتيجة أخطاء تحدث عند انتساخ الدنا قبل الانقسام الخلوي. وفي حالات نادرة نسبيا، تحدث طفرة مؤهبة للسرطان في جينة يرثها الفرد من أجداده.

وهذه الطفرات، أيا كان سببها، تؤدي إلى خلل في المسارات البيولوجية، بطرق تؤدي إلى نمو خلوي غير مضبوط، وهو صفة مميزة للسرطان، كما أنه من العلامات الأخرى للخباثة، مثل اختراق النُّسُج المجاورة والانتقال إلى أجزاء أخرى في الجسم. كما أن بعض الطفرات قد تعطل بعض الجينات التي تقوم عادة بحماية

نظرة إجمالية/ علاقات السرطان(**)

- إن التغيرات في تركيب الجينات أو نشاطها يمكن أن تفسر السلوك الخبيث للخلايا السرطانية.
- وتحديد الجينات المرتبطة ببعض أنواع السرطان قد أدى فعلا إلى تطوير وسائل التشخيص والعلاج.
- وإن أطلس الجينوم السرطاني The Cancer Genome Atlas يعد مبادرة عظيمة ستؤدي حتمًا إلى تحديد جميع التغيرات الجينية في الأنواع المختلفة للسرطان، بحيث يمكن استهداف الجينات المسببة للسرطان مباشرة.

(*) MAPPING THE CANCER GENOME
(**) Overview/ Cancer Connections
(***) A Disease of Genes
(1) cellular genome أو المجين الخلوي.
(2) Human Genome Project
(3) malignancy
(4) nucleotide bases



الجسم ضد السلوك الخلوي غير الطبيعي، في حين تعمل طفرات أخرى على زيادة نشاط الجينات المُمزِّقة. ومعظم الخلايا تتعرض على الأقل لبعض هذه التغيرات وذلك قبل أن تتحول إلى خلايا سرطانية ـ وهذه سيرورة قد تستغرق سنوات طويلة.

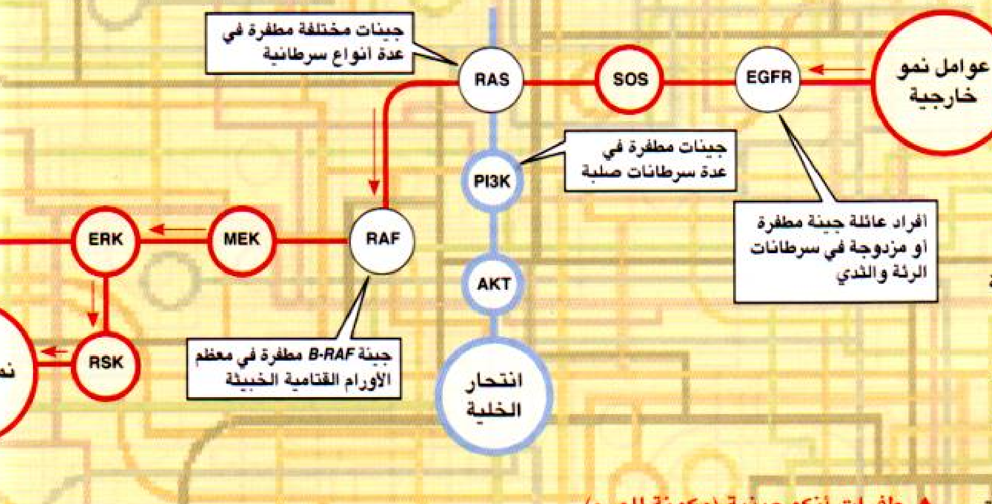
وعلى مدى العقدين السابقين قامت مجموعات بحثية كثيرة باستخدام طرق رائدة في مجال البيولوجيا الجزيئية، وذلك للكشف عن الطفرات في الجينات التي يمكن أن تؤثر في الأنماط الطبيعية للنمو والسلوك الخلويين. وقد نجحت أبحاث هذه المجموعات في اكتشاف نحو 350 جينة ثبت ارتباطها بالسرطان، مما أدى إلى تبصرات مهمة كثيرة حول هذا المرض ذي الطبيعة الشيطانية. وقد أعدّ فريق <M. ستراتون> [في المعهد W.T.S.I بكامبردج في إنكلترا] قاعدة بيانات أساسية لهذه التغيرات أسماها **كوزميك** COSMIC(1). لكن ليس هناك من يتصور أنها القائمة الكاملة لتلك التغيرات.

لذا فالسؤال الذي يطرح نفسه هو: هل من المنطقي الاستمرار على نطاق محدود في اكتشاف التغيرات السرطانية في الجينوم، في

(1) the cataglogue of somatic mutations in cancer

مسارات عديدة مؤدية إلى السرطان(*)

إن الخلل الوظيفي للجينات يكمن وراء قدرة الخلايا السرطانية على تخطي جميع الضوابط المنظمة للسلوك الخلوي. ولأن البرو... الناتجة من بعض الجينات تقوم بتنظيم وظائف بعض الجينات الأخرى، فإن طفرة(1) تسبب وقف أو زيادة نشاط جينة واحدة، ... أن تحدث عدة تأثيرات في توازن الخلية (*كما هو مبين في الرسم أدناه*). ومع ذلك تحتاج الخلايا عادة إلى أن تُلحم عدة طفرات ... للسرطان، أو أنكوجينية (مكونة للورم) oncogenic، في عدة جينات منفصلة لتكتسب الخواص المميزة للخباثة (*الإطار في ال...* وبتحديد جميع الجينات التي يمكن لتحويرها أن يولّد تلك الصفات المميزة إذا ما اكتشف يوما أي الطفرات التي تقود ... الإصابة بنوع معين من السرطان، يمكن تعيين أكثر الطرق فاعلية في مواجهة السرطان.



▲ **دورة معقدة**

إن التفاعلات الجزيئية المعقدة وغير الطبيعية في الخلية البشرية يمكن النظر إليها كشبكة من المسارات المتوازية والمتقاطعة. والرسم المبسط (*في اليسار*) يمثل أحد هذه المسارات التي تحفز التكاثر الخلوي، الذي يبدأ بعائلة مستقبلات عامل النمو البشري (EGFR) في الجدار الخلوي. وتنشيط أفراد هذه العائلة بوساطة مجموعة من عوامل خارج الخلية، يرسل إشارات إلى المزيد من الجينات والبروتينات، ما يؤدي في نهاية المطاف إلى تحفيز الخلية على «النمو» عن طريق الانقسام.

▲ **طفرات أنكوجينية (مكونة للورم)**

في جزء كبير من الأورام السرطانية في الرئة والثدي، تكون أفراد عائلة الجينات *EGFR* مُطفَّرة أو مضاعفة، وهذا يزيد من عدد أو وظائف المستقبلات التي تكوّدها، مما يمعن في تنشيط مسار النمو. كذلك فإن التغييرات في الجينة *B-RAF* المشاهدة في 70% من الأورام القتامية الخبيثة، يمكن أن تزيد من نشاط الخلية. والجينة *RAS* المطفرة في كثير من أنواع السرطان يمكنها أيضا التأثير في نمو الخلية وكذلك المسارات المتقاطعة. فمثلا، التدخل في برنامج انتحار خلوي من شأنه عادة تدمير الخلايا التالفة.

حين أن العالم يمتلك الآن الإمكانات التي تسمح بزيادة كبيرة في مجال وسرعة الاكتشاف؟ وفي السنوات الأخيرة، ظهر عدد من الأفكار والأدوات والتقانات التي أقنعت العديد من العقول الرائدة في مجال السرطان والبيولوجيا الجزيئية، بأنه آن الأوان لعمل جماعي، يتسم بالمنهجية والوضوح، في عمليات البحث المختلفة في **جينومية السرطان** the genomics of cancer.

وبالفعل أقام مشروع الجينوم البشري قاعدة تأسيسية للمشروع TCGA، وذلك عن طريق توفير التسلسل الجيني القياسي لثلاثة بلايين زوج من قواعد الدنا في جينوم النسج البشرية العادية. والمطلوب الآن هو مبادرة أخرى للبدء بمقارنة سلاسل الدنا والخواص الفيزيائية الأخرى للجينوم في خلايا عادية مع تلك السرطانية، وذلك لتحديد التغيرات الجينية الرئيسية التي تشكل ملامح السرطان الأساسية [*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*]. وقد أوضح مشروع الجينوم البشري أهمية العمل الدولي الجماعي في البيولوجيا على نطاق واسع، وذلك لتجميع المصادر والإسراع في الاكتشافات العلمية. ويسعى المشروع TCGA لتحقيق مشاركات مشابهة.

وأخيرا، يمكن القول إن مشروع الجينوم البشري نجح في إحداث تقدم هائل يعتد به في التقانات المستخدمة لسلسلة وتحليل الجينومات. وعند بداية ذلك المشروع عام 1990، مثلا، كانت تكلفة سلسلة الدنا تزيد على 10 دولارات لكل زوج منته من القواعد النكليوتيدية، وتضاءلت هذه التكلفة حتى وصلت اليوم إلى أقل من «بني» واحد للقاعدة الواحدة. ومن المتوقع أن تنخفض التكلفة أكثر من ذلك مع ظهور طرائق أكثر تطورا لعملية السلسلة الجينية [انظر: «*جينومات للجميع*»، **العلوم**، العدد 10 (2006)، ص 20]. وبسبب هذه وغيرها من التقانات المتطورة المستخدمة في المشروع TCGA والتي كانت ضربا من الخيال في السنوات القليلة الماضية، وقد صارت اليوم أكثر الطرق فاعلية وأقلها تكلفة في تحديد العوامل الجينومية العديدة المرتبطة بالسرطان.

براهين مفهوم(**)

بالطبع فإن توافر أكداس من البيانات عن السرطان ليس ذا قيمة كبيرة من دون دليل على أن المعرفة الشاملة عن الأصل البيولوجي للسرطان قد أحدثت بالفعل أثرا واضحا في معالجة المصابين بهذا المرض. فكثير من التطورات العلمية الحديثة قد قدم بالفعل البرهان على أن تحديد تغيرات جينية معينة في الخلايا

(*) Many Pathways to Malignancy
(1) mutation
(**) Proofs of Concept

ـواصفات تمييزية للسرطان

ـقدرات غير الطبيعية الست التالية مجتمعة تمنح السرطان قوته القاتلة التي ـتغادر النسيج الذي نشأ فيه إلى باقي أجزاء الجسم.

ـذاتي في مؤشرات النمو

ـالخلايا السرطانية بتكبير **إيعازات** cues النمو الخارجية أو تُصدر إيعازات ـخاصة بها.

ـالتأثر بالإيعازات المضادة للنمو

ـالخلايا السرطانية صماء فيما يختص بإيعازات التسكين الصادرة عن ـالنسج المجاورة.

ـانتحار الخلايا

ـأو التغلب على الآليات التي تستحث أو تنفذ برنامج التدمير الذاتي في ـالخلايا التالفة.

ـالنهائية على الانتساخ

ـالخلايا السرطانية من الحدود الفعلية على عدد المرات التي يمكن للخلية ـأن تنقسم فيها.

ـاستدام للأوعية الدموية

ـالأورام السرطانية ببث إشارات من شأنها تعزيز تطوير أوعية دموية جديدة ـبالأكسجين والمغذيات.

ـوتنقل سريعان

ـالخلايا السرطانية إلى العديد من ـوالقوى المسؤولة عن استقرار الخلية في ـوعدم انتقالها أو اقتحامها لنسج أخرى.

ـعن «الواصفات التمييزية للسرطان» ـفي مجلة الخلية، العدد 100، الشهر 2000/1.



تجزئة خلايا سرطان الرئة

ـالسرطانية يمكن بالفعل أن يؤدي إلى تحسين طرق التشخيص والعلاج والوقاية من هذا المرض. وهذه التطورات توافر لمحات مشجعة عما هو آت، وتبين أيضا كيف أن الخطوات نحو الأهداف المرجوة هي فعلا معقدة ومكلفة وتحتاج إلى وقت طويل.

وفي عام 2001، عندما بدأ **المعهد** W.T.S[1] باستخدام التقانات الخاصة بالجينوم لاستكشاف السرطان، كان أول تطبيق للمشروع هو الاستخدام الأمثل لنظم المعلومات في عمليات تشمل تحديد التسلسل الجيني لعشرين جينة في 378 عينة سرطانية. لكن مجموعة البحث توصلت بعد عام إلى اكتشاف مهم، وهو حدوث طفرة في جينة سميت B-RAF، وذلك في 70% من حالات الأورام القتامية الخبيثة التي جرت دراستها. وقد أدى ذلك إلى توجيه أنظار العديد من الباحثين إلى هذا الاكتشاف باعتباره هدفا جديدا يمكن أن يحقق علاج أكثر أنواع سرطانات الجلد تسببا في الوفاة. لذا جرت دراسة العديد من المحاولات ابتداء من الأدوية الكيميائية الكلاسيكية المعروفة حتى الجزيئات التداخلية الصغيرة **للحموض الريبونيوكليكية**[2] في كل من فئران التجارب أو **الخطوط الخلوية**[3] التجريبية، وذلك للتأكد مما إذا كانت هذه الاعتراضات والتداخلات قادرة على إيقاف أو الحدّ من نشاط الجينة B-RAF أو تثبيط بروتين، يسمى ميك MEK، يجري إفرازه بكميات غزيرة نتيجة لحدوث الطفرة في هذه الجينة. ولم تنقض خمس سنوات حتى أن أكثر الطرق العلاجية الواعدة كانت قد دخلت بالفعل في مرحلة الاختبارات السريرية.

وقد قامت مجموعات بحثية أخرى بدراسة التغيرات الطفرية في جينات معروفة بارتباطها بسرطانات، مثل سرطان الثدي والقولون وسرطانات الدم والغدد الليمفاوية وغيرها، وذلك لتطوير الطرق البيولوجية المستخدمة في تشخيص الأمراض والتكهن بحدوثها، كاستجابة مريض بعينه لنوع محدد من العلاج، وكذلك تطوير طرق العلاج واستخدام أحدثها.

فمثلا، إن الدواء گليڤك Gleevec يقوم بتثبيط إنزيم يجري إفرازه بواسطة جينة مطفرة مكونة من التحام جينتين هما BCR وABL، وهي التي تسبب سرطان الدم **الميلوكوني**[4] المزمن. وقد أظهر هذا الدواء أثرا فعالا في علاج هذا النوع من السرطان، وكذلك في علاج سرطانات أخرى أكثر تعقيدا من الوجهة الجينية، مثل **الورم السدري**[5] للجهاز الهضمي وأنواع أخرى نادرة نسبيا تشتمل على إنزيمات مشابهة. و**الهيرسپتين** herceptin، وهو مركب يستهدف بروتينا يسمى HER2، أثبت نجاحه في معالجة سرطان الثدي، حيث تجري عملية تكاثر غير عادية للجينة HER2 تتسبب في زيادة في إفراز البروتين المستقبل.

كما تمت دراسة تأثير أدوية مثل **إيريسًا**[6] **وتارسيڤا**[7] في علاج سرطان الرئة، والدواء **أڤاستين**[8] في علاج سرطان الرئة والقولون وغيرها، وذلك عن طريق وضع استراتيجيات لاختيار خطط علاجية مبنية على تغيرات طفرية في الجينات المعنية. مثل هذه التطبيقات، سواء في التشخيص أو التكهن بسير المرض أو علاجه، هي بالطبع عمل مهم، غير أنه مازال بعيدا عما يجب أن يكون عليه حتى ينجح الباحثون في الجامعات وفي القطاع الخاص في التوصل إلى الأطلس الكامل **للتغيرات الجينومية**[9] السرطانية.

وتوضح دراسة أجراها بعض الباحثين [في جامعة جونز هوپكنز] قدرة الجينوميات الواسعة النطاق من أجل الكشف عن الخلايا السرطانية، كما توضح كيف ستكون ضخامة تعهد إنجاز أطلس جينوم سرطاني. فقد قاموا بتحديد التسلسل الجيني لنحو ثلاثة عشر ألف جينة في عينات من نسيج سرطاني أُخذت من إحدى عشرة حالة من كل من سرطان القولون والثدي. وقد أعلنوا عن وجود تغيرات طفرية مهمة في نحو مئتي جينة مختلفة. ومن المعروف أنه تم إثبات وجود علاقة بين نحو اثنتي عشرة فقط من هذه الجينات وبين هذين النوعين من السرطان (الثدي والقولون). ويتوقع معظم العلماء اكتشاف عدد من الجينات أكثر من ذلك قليلا.

ومن التحديات الأساسية التي تعترض الباحثين أثناء سَلْسَلة جينومات الخلايا السرطانية هو صعوبة التمييز بين التغيرات الطفرية في العينات السرطانية المرتبطة بالسرطان والأخرى التي ليس لها علاقة بالسرطان. كما أنه قد لوحظ في دراسات سابقة

---

(١) Wellcome Trust Sanger Institute
(٢) ribonucleic acids
(٣) cell lines
(٤) myelogenous أو myelogenic: نقوي المنشأ = منتج في نقي العظام.
(٥) stromal tumor
(٦) Iressa
(٧) Tarceva
(٨) Avastin
(٩) genomic changes

الجينات والسرطان(*)

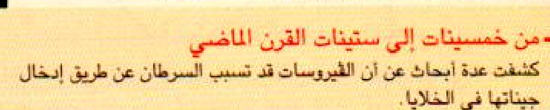
قبل أكثر من مئة عام، لاحظ البيولوجي الألماني <Th. بوفيري> وآخرون العلاقة بين التغيرات الجينية غير العادية **والمعالم المنحرفة**(١) للخلايا السرطانية. ولكن على مدى العقود القليلة الماضية بدأت تترسخ فكرة أن التغيرات الجينية هي السبب المباشر في السلوك المنحرف للخلايا السرطانية. ومنذ عام 1986 طُرحت ضرورة سلسلة جينوم بشري عادي، وذلك من أجل دراسة تغيرات الجينوم السرطاني بصورة أكثر وضوحًا. وقد تم الانتهاء من مشروع الجينوم البشري عام 2003، وسيبدأ في هذا العام مشروع أطلس الجينوم السرطاني بتجميع التغيرات الطفرية في الجينات الموجودة في ثلاثة أنواع من السرطان.



◄ <Th. بوفيري>

1914 - 1890

أشارت دراسة التوزّع غير العادي للكروموزومات أثناء الانقسام الخلوي، إلى أنه قد يكون لهذا التوزع دور في إحداث السرطان.



من خمسينات إلى ستينات القرن الماضي

كشفت عدة أبحاث عن أن الفيروسات قد تسبب السرطان عن طريق إدخال جيناتها في الخلايا.



1960

تم اكتشاف أول خلل جيني يرتبط بنوعية معينة من السرطان، ويسمى هذا الخلل كروموزوم فيلادلفيا. وقد اكتشف في خلايا سرطان الدم المزمن **الميلوكوني (النقوي المنشأ)** myelogenous.

1976

اكتشف العلماء أن **الجينة اللافيروسية**(٢) (SRC) الموجودة في الخلايا الحيوانية قد تسبب السرطان.

1979

تم اكتشاف الجينة *P53* التي ثبت فيما بعد أنها أكثر الجينات المطفرة وجودا في السرطانات التي تصيب الإنسان.

1981

RAS-H هو أول **أنكوجين**(٣) بشري تم اكتشافه (وهي جينة تسبب التغيرات فيها الإصابة بالسرطان).

1983

من المتوقع أن التغير في عملية **تمثيل الحمض النووي**(٤) قد يؤثر في التنشيط الجيني الموجود في الخلايا السرطانية.

1986

نادى <R. دولبيكو> في مقالة نشرت في المجلة *Science* بضرورة سلسلة الجينوم البشري من أجل تقدم أبحاث السرطان.

1986

اهتمت وزارة الطاقة (في الولايات المتحدة) بسلسلة الجينوم البشري لإنجاح دراسة تأثيرات الإشعاع.

1986

تم اكتشاف أول جينة مثبطة للسرطان (*RB1*).

1987

وجد أن الجينة المكونة من التحام الجينتين *BCR* و *ABL* بالكروموزوم فيلادلفيا تسبب سرطان الدم المزمن الميلوكوني (النقوي المنشأ) (CML).

1990

ساعد نموذج توليد السرطان عن طريق سلسلة من الخطوات، على توضيح الدور الذي تؤديه تراكمات التغيرات الجينية في عملية التحول الخلوي إلى الخباثة.



1990

بدء مشروع الجينوم البشري.

للسلسلة الجينية وجود قليل من التشابه في التغيرات الطفرية الموجودة في الأنواع المختلفة من السرطانات، بل إنه لوحظ أيضا وجود بعض الاختلافات الواضحة في نمط التغيرات الطفرية في العينات المأخوذة من المصابين بنفس نوع السرطان. وقد أكدت هذه الملاحظات فكرة أن تحول خلية طبيعية إلى أخرى سرطانية هو نتاج تجمع عدة أنواع مختلفة من التغيرات الطفرية؛ ولذلك فإن الملامح الجينية المميزة لكل نوع من الأورام السرطانية قد تختلف كثيرا بين المصابين بالسرطان على مستوى الجسم الواحد أو العضو الواحد أو حتى النسيج الواحد.

ولكي نتمكن من تحديد المدى الكامل لما يأمل المشروع TCGA في إنجازه، يجب الأخذ في الاعتبار التعقيدات المكتشفة أثناء المحاولات السابقة وتصور أن يمتد العمل ليشمل أكثر من مئة نوع من السرطان. غير أن أعضاء المشروع TCGA وغيرهم من العلماء الرواد في هذا المجال من جميع أنحاء العالم، مصممون على العمل جاهدين في هذا المضمار لاعتقادهم أن الفرصة الكبرى في إنقاذ أرواح مرضى السرطان تكمن وراء كشف متاهات الجينوم السرطاني.

ومع أنه قد تنقضي عدة سنوات قبل أن يصل الباحثون في هذا المجال إلى إتمام الكتالوگ التوضيحي الكامل الذي يضم جميع التغيرات الطفرية في الجينوم البشري المسؤولة عن تحول الخلية الطبيعية إلى أخرى سرطانية، إلا أنه يمكن الاستفادة من النتائج المبدئية التي تم التوصل إليها، في تطوير أساليب علاج السرطان. فمع كل نوع جديد من السرطان تتم دراسته ضمن المشروع TCGA يكتشف الباحثون أهدافا ومميزات جديدة للجينوم تتيح لهم الفرصة لتطوير أساليب علاجية أكثر ملاءمة للسرطان.

تأليف أطلس ضخم(**)

أثبتت الخطة المرحلية نجاحها في بداية مشروع الجينوم البشري، وقد تركزت في اختبار البروتوكولات والتقانات قبل التدرج في الوصول إلى **«إنتاج» سلسلة دَنَوية كاملة**(٥). وبالمثل، بدأ المشروع TCGA بعمل دراسة مبدئية لتطوير واختبار الإطار العلمي المطلوب للوصول إلى المسح الكامل للجينوم وعمل خارطة تضم جميع التغيرات غير العادية في الجينوم والمتعلقة بحدوث السرطان.

وفي عام 2006، قام كل من المعهد الوطني للأورام والمعهد الوطني لأبحاث الجينوم البشري باختيار الفرق العلمية والإمكانات التي ستسهم في دراسة الأنواع المختلفة للسرطان، وذلك من خلال هذا المشروع المبدئي. وفي خلال الثلاث سنوات المقبلة سيقوم المعهدان المذكوران بتخصيص مئة مليون دولار لتأليف أطلس يضم التقديرات الجينية في ثلاثة أنواع من السرطان، وهي سرطانات المخ والرئة والمبيض. ولقد تم اختيار هذه الأنواع الثلاثة للسرطان لعدة أسباب، منها أنه يمكن اعتبارها مثالا عياريا لإمكانية تعميم هذا المشروع على أكبر عدد من الأنواع السرطانية. وبالفعل، إذا نجحت هذه المرحلة

(*) Genes and Cancer
(١) aberrant features
(٣) oncogene جينة ورمية (مكونة للورم)
(٥) full DNA sequence "production"
(**) Compiling a Colossal Atlas
(٢) nonviral gene
(٤) methylation of DNA

التجريبية في تحقيق أهدافها عندئذ فقط يستطيع المعهد الوطني للأورام المضي قدما في تنفيذ مشروع إصدار أطلس كامل للسرطان.

ويقدر عدد الحالات المصابة بالأنواع الثلاثة للسرطان التي تم اختيارها في هذه المرحلة التجريبية بأكثر من 000 210 حالة سنويا بالولايات المتحدة الأمريكية، والتي تسببت في وفاة 000 91 حالة عام 2006. وطبقا للقواعد العلمية والتقنية والأخلاقية المتبعة في أخذ العينات بالنسبة إلى هذه الأنواع الثلاثة من السرطان، قامت المعاهد العلمية المعنية بالإعلان عن تحديد ثلاثة **بنوك بيولوجية**[1] للتزويد بتلك العينات وبأية عينات سرطانية جديدة في حالة الحاجة إليها، وللتزويد أيضا بأجزاء من النسيج الطبيعي المجاور للورم مأخوذة من نفس المرضى، وذلك للمقارنة. وتقوم هذه المجمعات البيولوجية، بإرسال العينات المعنية إلى المصدر الرئيسي للعينات البيولوجية، وهو واحد من المكونات الأساسية الأربعة للمشروع **الاستطلاعي**[2] TCGA.

وتمثل مراكز تمييز الجينوم السرطاني CGCC ومراكز سلسلة الجينوم ومراكز تنسيق المعلومات المكونات الأساسية الأخرى للمشروع (*انظر الشكل في أسفل يسار هذه الصفحة*). وتتعاون هذه المجموعات جميعها وتتبادل المعلومات بجدية تامة. وبالتحديد تقوم مراكز تمييز الجينوم السرطاني السبعة باستخدام عدد كبير ومتنوع من التقانات لدراسة مستويات الأنشطة المختلفة للجينات في العينات السرطانية لاكتشاف وحصر التغيرات الجينية ـ على نطاق واسع ـ التي تسهم في تطور السرطان. وتشمل هذه التغيرات إعادة ترتيب الكروموزومات (الصِّبغيّات) والتغيرات في أعداد النسخ الجينية و**التغيرات الإيبجينية**[3] epigenetic، وهي التغيرات الكيميائية في **شريط الدنا**[4] التي من شأنها توقيف أو إعادة النشاط الجيني من دون تغير فعلي **للتسلسل الجيني للحمض النووي**[5].

وتصبح الجينات وغيرها من مناطق الكروموزومات المهمة، المحددة من قبل مراكز تمييز الجينوم السرطاني، أهدافا لسَلْسَلة الجينوم من قبل المراكز الثلاثة لسلسلة الجينوم. كما أن العائلات الجينية المتوقع ثبوت أهميتها في السرطان، مثل التي **تكوّد**[6] الإنزيمات المعنية بالتحكم في الدورة الخلوية والمسماة **تيروسين كيناز** tyrosine kinases و**الفسفاتاز** phosphatases، ستتم سَلْسَلتها لتحديد مواضع الطفرات الجينية وغيرها من التغيرات على نطاق ضيق في **كودها الدَّنَوي** DNA code. وحاليا نتوقع أن سلسلة نحو 2000 جينة ـ في كل واحدة منها نحو 1500 عينة سرطانية ـ ستتم في هذا المشروع الاستطلاعي. وبالطبع فإن تحديد العدد المضبوط يتوقف على العينات التي يمكن الحصول عليها وما سيتم اكتشافه عن هذه العينات من قبل مراكز تمييز الجينوم السرطاني.

ومن المتوقع أن كلا من مجموعتي التسلسل الجيني والتمييز الجيني واللتين كان من بين أعضائهما كثيرون ممن شاركوا في مشروع الجينوم البشري، ستواجه تعقيدات أكثر بكثير مما ستواجهه في **دنا** DNA الخلايا العادية، حيث تصبح أكثر عرضة

---

(1) biorepositories (2) pilot

(3) تغيرات ناجمة عن تأثيرات خارجية أكثر من كونها جينية، فهي لاجينية بشكل عام.

(4) DNA strand (5) DNA sequence أو السَّلْسِلة الدَّنَوية.

(6) encode

▸ نموذج كليفيك

1993

بدأت المراحل التجريبية ما قبل السريرية على دواء عرف فيما بعد باسم كليفيك، وهو أول دواء تم إعداده لاستهداف مسبب جيني معروف لسرطان معين.

1999

أمكن لملامح النشاط الجيني أن تبين لأول مرة الفرق بين أنماط السرطان وأن تتنبأ بالاستجابة إلى العلاج الكيميائي للسرطان.

2001

حاز دواء كليفيك موافقة إدارة الغذاء والدواء (FDA) الأمريكية.

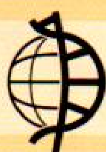
2002

اكتشف معهد «ويلكم تراست سنجر» من خلال بحث عن الجينوم السرطاني وجود تغير طفري في الجينة *B-RAF* في 70% من الأورام القتامية الخبيثة.

2003

استكمال مشروع الجينوم البشري.

2005



أعلنت المعاهد الوطنية للصحة (NIH) عن المشروع الاستطلاعي لأطلس جينوم السرطان (TCGA).

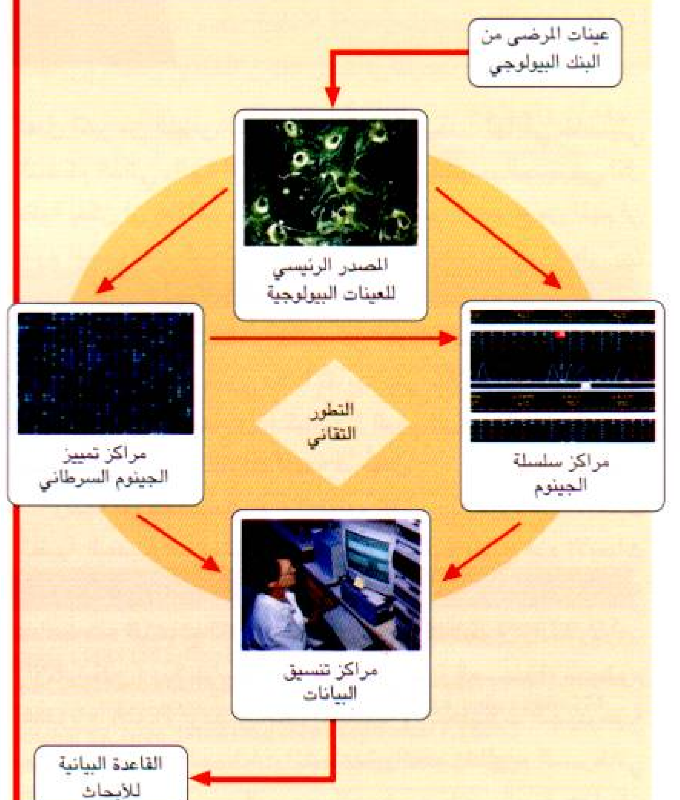
2006

أعلن المشروع الاستطلاعي TCGA عن أسماء المشتركين بالمشروع وعن ثلاثة أنواع من السرطان لسَلْسَلتها وتحليلها جينيا.

2010 - 2007

سيعمل المشروع TCGA على جمع وتحليل العينات السرطانية الواردة من البنوك (المختزنات) البيولوجية الرئيسية الخاصة بمراكز معالجة مرضى السرطان. والأركان الأساسية الأربعة للمشروع هي: المصدر الرئيسي للعينات البيولوجية، سبعة مراكز لتمييز الجينوم السرطاني، ثلاثة مراكز للسَّلْسَلة الجينية، مركز لتنسيق المعلومات. وتتعاون هذه الأركان لاختبار الطرائق والتقانات المختلفة ومن ثم لجعل المعلومات المستخلصة في نهاية المطاف في متناول المجتمع البحثي الأوسع.

كيف سيعمل؟



حان وقت الانتقال من الجينوم إلى السرطان(*)

<R. دولبيكو>

في عام 1986، عندما اقترحت مشروعًا جديدًا لتحديد جميع الجينات البشرية، كان أحد أهدافي هو إيجاد الجينات المسببة للسرطان وكان ذلك بمثابة مغامرة أُمِلت أن تؤدي إلى اكتشاف تقنيات جديدة للبحث في مجال السرطان، وفي نهاية المطاف لاكتشاف وسائل علاج جديدة فعالة. وبالفعل أثمر المشروع الأساسي للجينوم البشري عن اكتشاف جينات لها علاقة بأمراض عديدة، منها السرطان. فضلا عن ذلك، طُبقت عملية سَلْسلة الجينوم على كائنات حية غير الإنسان، ابتداء من **البكتيرات**(1) إلى الشامبنزي، وقد دللت على **وحدة الحياة**(2) بأن كشفت عن مدى ما يشترك فيه العديد من جينات كائنات حية متباعدة.

ومن خلال هذا العمل زودتنا التقانات الجديدة بكثير من التفاصيل لفهم أفضل للسيرورات المعقدة التي تُنشئ وفقها الجيناتُ جزيئات فعالة. ونتيجة مهمة لهذا البحث، هي إدراك أن الجينات لا تعمل وحدها، بل من خلال شبكة واسعة من النشاط داخل الخلايا؛ وإن أي تغير في عمل واحدة من هذه الجينات يحدث تغيرات في أداء العديد من الجينات والبروتينات التي تؤثر في إعالة الخلايا لذاتها.

ومن المعروف أن تحول الخلية العادية إلى أخرى سرطانية يكون نتيجة فقد تدريجي **للتحكم الذاتي الخلوي**(3) بسبب التغيرات الفيزيائية أو الطفرية، أو في بعض الجينات بسبب التغير الذي يحدث في العديد من الجينات الأخرى المتحكمة في نشاط الخلية، وبذلك يمكن تحديد مسؤولية جينات بعينها عن بدء الإصابة بالسرطان؛ ومن ثم يمكن اعتبار هذه الجينات أهدافًا لإيجاد وسائل علاجية جديدة. ولحدوث الحالات السرطانية المتقدمة (مثل الانتكاسات الحادة لسرطان الدم **الميلودي**(4) المزمن والحالات السرطانية الأخرى المنتشرة)، لا بد من مشاركة العديد من الجينات الأخرى؛ وأكثرها مازال غير معروف حتى الآن.

على أن هناك ظاهرة استثنائية تم اكتشافها حديثا، حيث تتسبب التغيرات الطفرية في الجينوم الخلوي في إيقاف نشاط الأُنكوجين، مما يؤدي إلى انتحار الخلية من خلال عملية موت منظمة تُسمى أبوپتوسيس apoptosis. ولكن مدى شيوع هذه الظاهرة مازال مجهولا. وللإجابة عن هذه الأسئلة لابد من أن يكون لدينا سجل كامل بالتغيرات في تكوين ونشاط الجينات وبعض المكونات الخلوية الأخرى المتسببة في غياب الانتظام في الخلايا السرطانية. وهذا هدف آخر يجب تحقيقه مستقبلا.

وعلى الطريق لتحقيق هذا الهدف يمكن البحث في دور الخلايا الجذعية في السرطان. فقد لوحظ بعض أوجه الشبه بين سلوك الخلايا الجذعية والخلايا السرطانية. فكلتا الخليتين تظهران قدرة لامحدودة على الانقسام، ولكلتيهما حساسية عالية **للبيئة الخلوية**(5)، كما أنهما تحتويان على الجينات المنشطة نفسها.

لقد أتاحت **الجينومية** genomics تبصرات حول الآليات التي تتحول بواسطتها الخلايا العادية إلى أخرى سرطانية، وإن ظلت الصورة غير واضحة تماما حتى الآن. وقد حان الوقت لتجنيد كافة الإمكانات الحديثة المتوافرة في الجينومية والبيولوجيا الجزيئية للحصول على سجل شامل بالفعل للجينات المتسببة في الإصابة بالسرطان، وهذا هو ما يهدف إليه مشروع أطلس الجينوم السرطاني.

ينتج السرطان من الفقدان التدريجي لعملية التحكم الذاتي الخلوي.

المؤلف

Renato Dulbeco

هو رئيس شرفي لمعهد سولك Salk للدراسات البيولوجية، وحائز على جائزة نوبل بالمشاركة عام 1975 في علم وظائف الأعضاء (الفيزيولوجيا)، لاكتشافات المتعلقة بالتفاعل بين الفيروسات السرطانية والمادة الجينية للخلية.

لمعدل أكبر من التطفر، نتيجة للقصور الذي يحدث لها في خاصيتي التحكم الذاتي وآلية الإصلاح الذاتي. لذا فالبناء الجينومي لكل خلية يمكن أن يختلف كثيرا في الورم الواحد، ويصبح من المهم أن تقوم المجموعات البحثية بتطوير أساليب قاطعة لتمييز فعلي بين «إشارة» لطفرة مهمة ممكنة بيولوجيا وبين «ضجيج» طفرات الخلفية العالية المعدل الملاحظ في كثير من الأورام السرطانية. كما أن الأورام السرطانية تحتوي دائما تقريبا على خلايا غير سرطانية قد **تخفف** dilute العينة. وإذا كان دنا الورم المراد سَلْسلته كثير التباين، فإن بعض الطفرات المهمة قد تُغفل.

وتبعا لتوجهات مشروع الجينوم البشري وغيره من الأبحاث الطبية الحديثة الخاصة بالجينات سيتم وضع نتائج هذه الأبحاث جميعها في متناول القائمين بالأبحاث في هذا المضمار. ولزيادة فائدة هذه النتائج لكل من الباحثين الأكاديميين والسريريين (الإكلينيكيين) وبالطبع لكل مسؤولي الرعاية الصحية، سيقوم المشروع TCGA بربط بيانات السَّلْسلة والتحليلات الجينومية بمعلومات حول الصفات المشاهدة والمميزة للورم السرطاني الأصلي، وكذلك المصير السريري للمريض صاحب العينة. هذا وإن تطوير جميع أدوات **المعلوماتية البيولوجية** bioinformatic لجمع ومكاملة وتحليل الكم الهائل من البيانات، مع الحفاظ على سرية المعلومات الخاصة بالمرضى، هو أيضا عقبة أخرى يجب تخطيها لتتحول رؤيتنا إلى واقع حقيقي.

مجال مجهول المسالك(**)

إن الطريق إلى تحقيق ما نهدف إليه في هذا المجال محفوف بالتحديات العلمية والتقانية والتغيرات السياسية ـ بعضها مازال غير معروف بعد. ومن بين التساؤلات المطلوب الإجابة عنها: هل التقانات الجديدة لسَلْسلة الجينوم ستحقق الهدف منها في الوقت المطلوب بحيث يكون المجهود المبذول ذا قيمة اقتصادية؟ وكم من الوقت ستستغرقه عملية تطوير الإمكانات المتوافرة وتطبيقها بصورة منظمة لاكتشاف التغيرات **الإيپجينية** epigenetic، وكذلك التغيرات

(*) From Genome to Cancer - Why the Time Is Right

(1) جمع بكتيرة.

(2) unity of life

(3) cellular self-control

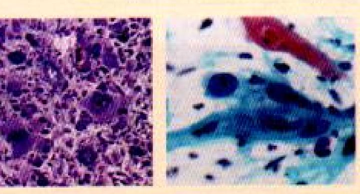
(4) myeloid

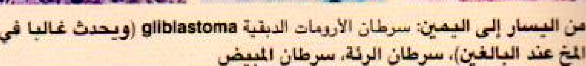
(5) cellular environment

(**) Uncharted Territory

استهداف التغيرات الجينية في السرطان(*)

ستقوم مجموعات البحث الاستكشافي (TCGA) بفحص الحمض النووي (الدنا) لألف وخمسمئة عينة سرطانية من مرضى سرطانات الرئة والمبيض والمخ، وذلك لكشف التغيرات الجينية. ويتوقع سَلْسَلَة جينية لما يقرب من ألفين جينة مريبة في كل عينة لتحديد تغيرات طفرية معينة. وسيتم عمل قائمة بالجينات المستهدفة في كل نوع من هذه السرطانات. وفي الأغلب، ستقوم بتحديد هذه الجينات معاهد تمييز الجينوم البشري (C.G.Ch) من العينات التي لديها، وستضم القائمة أيضا الجينات المرتبطة بالسرطان والتي سبق تعرفها.





من اليسار إلى اليمين: سرطان الأرومات الدبقية **glioblastoma (ويحدث غالبا في المخ عند البالغين)، سرطان الرئة، سرطان المبيض**

المجموعات الجينية	أمثلة
جينات مصنفة من قبل المعاهد TCGA بأن الخلل فيها يكمن في تكوينها أو النشاط في عدد كبير من العينات السرطانية.	في بعض عينات أورام المخ، يكون **التكويد الجيني** gene encoding للبروتين **داخل الخلايا** intracellular (NF-KAPA B) أنشط كثيرا مما هو في نسيج مخي عادي.
أنكوجينات (جينات ورمية) معروفة جيدا (جينات تتسبب زيادة نشاطها أو تغيراتها في السرطان).	• جينات مستقبلة عامل نمو: *HER2* (سرطانا الثدي والرئة)، *EGFR* (سرطانا الرئة والقولون). • جينات بروتين مؤشرة: *BCR-ABL* (سرطان الدم الميلوكوني المزمن)، *RAS* (في كثير من السرطانات)، *B-RAF* (سرطان الجلد). • **مُنظمات** regulators موت الخلية: *BCL-3* (الأورام الليمفاوية).
كابتات suppresors للأورام معروفة جيدا (وهي جينات تحمي الخلايا من التحول السرطاني، إلا إذا فقدت هذه الخاصية نتيجة تغيرات طفرية).	• متحكمات في الانقسام الخلوي: *RB1* (ورم العين رُتينوبلاستوما). • **المصححات الدَّنَوية** DNA repaires: *HNPCC* (سرطانا القولون والرحم). • **مُحَضضات** promoters الانتحار: *P53* (سرطانات الرئة والقولون والثدي والمخ).
جينات متعلقة بأنكوجينات (جينات ورمية) معروفة وبجينات كابتة للأورام، وذلك بالتشابه أو الاشتراك في المسارات الخلوية.	إن الأنكوجينات (الجينات الورمية) *HER2* و *EGFR* هي جزء من عامل النمو **البشروي** epidermal مستقبل مؤشر المسار، الذي يحتوي على الأقل على 6 جينات أخرى يُظن أنها تؤدي دورا محوريا في تطور السرطان.

الجينومية الواسعة النطاق المرتبطة بالسرطان، وبخاصة تلك المتعلقة **بانتقال المرض** metastasis؟ وكيف يمكننا تسخير قوة **البيولوجيا الحاسوبية** computational biology لتكوين **بوابات** portals إلى قاعدتها البيانية، بحيث يمكن أن يستفيد منها البيولوجيون الأكاديميون والباحثون السريريون وكذلك المسؤولون عن الصحة في الصفوف الأمامية؟ كيف يمكننا موازنة حقوق الملكية الفكرية بحيث تؤدي إلى ترقية البحث الأكاديمي وتطوير طرق العلاج؟ ومتى سيتمكن الكونگرس من سنِّ **قانون ضد التمييز الجيني**(1)، بحيث سيكون للمعلومات المكتسبة عبر المشروع TCGA أكبر قدر من التأثير الايجابي في صحة الأمريكيين؟ وتستمر قائمة التساؤلات.

ولتجنب التوقعات الخاطئة، لابد من الوضوح بخصوص التساؤلات التي لا يمكن لهذا المشروع أن يجيب عنها. فمع أن المشروع TCGA يُعد مصدرا مهما لنطاق واسع من الاستكشافات البيولوجية، إلا أنه مجرد قاعدة للبحث المستقبلي في السرطان، وهذا البحث مازال غير مكتمل. وباستعراض العدد الكبير من المواقع الشاغرة على خارطة المعلومات الجينية الحالية حول السرطان، فإن توقع ملء هذه الشواغر أمر مبهج ولكنه محبط في الوقت نفسه. فالعلماء والجمهور في حاجة ماسة إلى معرفة غير قابلة للشك أن هذا الاقتحام غير المسبوق في مجال عمل خارطة جزيئية يتطلب سنوات عديدة من العمل الشاق والحلول الإبداعية للعديد من المشكلات من قبل الآلاف من العلماء من مختلف المجالات العلمية.

فحتى اليوم، مازالت الرؤية غير واضحة تماما بخصوص ما ستسفر عنه جميع هذه الأبحاث. ومن أجل مرضى السرطان ومن سوف يصابون به، نأمل أن يفوق ما ستحققه الأبحاث البيولوجية من إنجازات حول السرطان، خلال القرن الحادي والعشرين، جميع توقعات وأحلام ‹ريناتو دولبّيكو›. ■

(*) Targeting Gene Changes in Cancer

(1) genetic nondiscrimination legislation

المؤلفان

Francis S. Collins - Anna D. Barker

هما رائدا مشروع أطلس الجينوم السرطاني. ‹كولينز› هو مدير المعهد الوطني لأبحاث الجينوم البشري، وقد استطاع بفضل إدارته لهذا المشروع إتمام السلسلة الجينية للحمض النووي (DNA) للإنسان. و‹باركر› هي رئيس هذا المعهد، وكانت ترأس أيضًا فريق الأبحاث الخاصة بتطوير الدواء والتقنيات البيولوجية في القطاعين العام والخاص، من أجل مكافحة السرطان.

مراجع للاستزادة

The New Era in Cancer Research. Harold Varmus in *Science*, Vol. 312, pages 1162–1165; May 26, 2006.

The Consensus Coding Sequences of Human Breast and Colorectal Cancers. Tobias Sjöblom et al. in *Science*, Vol. 314, pages 268–274; October 13, 2006. (Published online September 7, 2006.)

The Cancer Genome Atlas: http://cancergenome.nih.gov

Scientific American, March 2007

الألوان الخادعة والدماغ(*)

توحي خداعات بصرية جديدة بأن الدماغ لا يفرق بين إدراك الألوان وإدراك الأشكال والأعماق.

<J.S. ويرنر> ـ <B. پينّا> ـ <I. سپيلمان>





تلقي أوراق الخريف والانعكاسات في مياه الينبوع ضوءا قويا على الطريقة التي تسهم بها الألوان في الإدراك الحسي للأشياء، إذ يختفي الكثير من العمق والتفاصيل في النسخة بالأبيض والأسود للمشهد نفسه.

إن عالما بلا ألوان يبدو مفتقدا لعناصر مهمة، وهو هكذا بالفعل. فالألوان لا تمكننا فقط من رؤية العالم بدقة أكثر، ولكنها أيضا تضفي إليه خواصّ ناشئة عنها قد لا توجد من دونها. فالصورة الفوتوغرافية التي بالألوان في هذه *الصفحة*، على سبيل المثال، تظهر فيها الأوراق النباتية الخريفية في المياه الهادئة الرائقة لينبوع ومعها الصور المنعكسة للأشجار ولسماء الأصيل الداكنة الزرقة من خلفها على الماء. أما في الصورة الفوتوغرافية بالأبيض والأسود للمشهد نفسه، فإن الأوراق النباتية تبدو أقل وضوحا، وتكون السماء الداكنة الزرقة غائبة وانعكاسات الضوء ضعيفة، وتصعب رؤية المياه نفسها، وتختفي تماما الفروق في العمق الظاهر في ما بين السماء والأشجار والأوراق النباتية الطافية.

ولا يزال هذا الدور الذي يؤديه اللون وحتى الطبيعة الحقيقية للون غير مدركَيْن جيدا. ويعتقد كثير من الناس أن اللون خاصية مميزة وأساسية للأشياء تعتمد كليةً على الأطوال الموجية المعينة للضوء المنعكس منها. ولكن هذا الاعتقاد خاطئ، فاللون هو إحساس يحدث أو يتخلق في الدماغ؛ إذ لو كانت الألوان التي ندركها بحواسنا تعتمد فقط على الطول الموجي للضوء المنعكس منها لبدا أن ألوان الأشياء تتغير تغيرا مثيرا مع التغيرات التي تحدث في الإضاءة خلال النهار وفي الظلال. ولكن بدلا من ذلك يجعل نشاط الدماغ ألوان الأشياء ثابتة نسبيا على الرغم مما يحدث من تغيرات في البيئة المحيطة بها.

ويتفق معظم الباحثين الذين يدرسون الإبصار على أن الألوان تساعدنا على التمييز بين الأشياء عندما لا تكون الفروق في السطوع كافية لهذه المهمة، في حين ينزع البعض إلى القول بأن الألوان تَرَفٌ ولا حاجة فعلية إليها، إذ على الرغم من كل شيء يبلي الناسُ المصابون بالعمى اللوني التام وكذلك الكثير من أنواع الحيوانات بلاءً حسنا من دون مدى الإدراك اللوني الموجود لدى الغالبية من البشر. فالمسار المسؤول عن أداء وظيفة الملاحة والحركة في الدماغ، على سبيل المثال، يتسم أساسا بالعمى اللوني؛ كما يبدو أن الأشخاص الذين يصابون بالعمى اللوني إثر إصابتهم بسكتة دماغية يظل إدراكهم البصري طبيعيا من النواحي الأخرى. ولقد أخذت مثل تلك الملاحظات كدعائم لمفهوم الطبيعة الانعزالية للمعالجة اللونية الذي يقترح أن الألوان ليس لها أي دور في معالجة عمق الأشياء وشكلها، وأنها باختصار مختصة فقط بتدرج اللون وإشباعه وسطوعه.

ولكن دراسة الألوان الخادعة للبصر، أي التي ينخدع الدماغ

(*) ILLUSOR COLOR THE BRAIN

برؤيتها، تثبت أن معالجة الألوان في الدماغ تحدث جنبا إلى جنب مع معالجة خواص الأشياء الأخرى، مثل الأشكال والحدود. لقد درسنا عددا من الصور الجديدة الخادعة للبصر التي ابتدعنا كثيرا منها في محاولتنا، طوال عقد من الزمن، تَبَيُّنَ كيف تؤثر الألوان في إدراك الخواص الأخرى للأشياء. ولقد أعانتنا هذه الصور الخادعة للبصر على فهم كيف تؤدي المعالجة العصبية للألوان إلى بزوغ خواص الأشكال والحدود. إلا أننا نحتاج إلى تذكر كيف يعالج الجهاز البصري البشري الألوان قبل أن نبدأ بمناقشة تلك الصور الخادعة للبصر.

المسارات المؤدية إلى الخداع البصري(*)

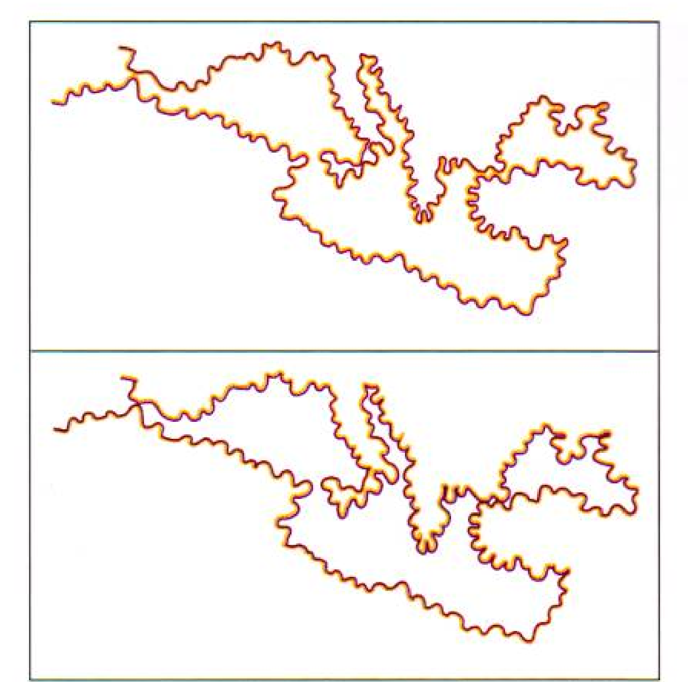
يبدأ الإدراك البصري بامتصاص الضوء - أو بشكل أكثر دقة بامتصاص مجموعات صغيرة منفصلة من الطاقة تسمى الفوتونات أو وحدات الكم الضوئي - بواسطة المخاريط والنبابيت الواقعة في الشبكية [*انظر المؤطر في الصفحة 60*]. تستخدم المخاريط للرؤية النهارية، أما النبابيت فهي مسؤولة عن الرؤية الليلية. يستجيب مخروط المستقبل الضوئي بحسب عدد الفوتونات التي يأسرها، وتنتقل استجابته إلى نوعين مختلفين من العصبونات يطلق عليها مصطلح الخلايا الثنائية القطب لبدء الاستثارة العصبية ووقفها. وبدورها تزود هذه العصبونات خلايا عقدية لبدء الاستثارة العصبية ووقفها، وهي واقعة جنبا إلى جنب في الشبكية، بزاد من الدفعات العصبية.

وللخلايا العقدية ما يسمى **حقل استقبال مطوقا لمركز**(1)، وحقل الاستقبال لأي عصبون متعلق بالإبصار هو مساحة من الفضاء في العالم المادي تؤثر في نشاط ذلك العصبون. ويستجيب العصبون ذو حقل الاستقبال المطوق لمركز استجابات متفاوتة وفقا لكمية الضوء النسبية في مركز الحقل وفي المنطقة المحيطة بالمركز.

وتستثار الخلايا العقدية لبدء الاستثارة العصبية إلى أقصى حد وتطلق الدفعات العصبية بمعدل مرتفع، عندما يكون المركز أكثر إضاءة من المنطقة المحيطة به؛ وتقل استثارتها إلى حدها الأدنى وتطلق الدفعات العصبية بمعدل منخفض، عندما يكون حقل الاستقبال مضيئا إضاءة متماثلة. أما الخلايا العقدية لوقف الاستثارة العصبية فتسلك مسلكا مضادا، حيث تطلق الحد الأقصى من الدفعات العصبية عندما يكون المركز أكثر ظلمة من المنطقة المحيطة به، وتطلق الحد الأدنى من الدفعات العصبية عندما يكون المركز والمنطقة المحيطة به متماثلي الإضاءة. وهذا التضاد بين

نظرة إجمالية/ رؤية الألوان(**)

- **لقد ظل الباحثون، الذين يدرسون عملية الإبصار، يعتقدون أن معالجة الألوان في الدماغ منفصلة عن معالجة ملامح الأشياء الأخرى، مثل العمق والشكل.**
- **ولكن دراسة الألوان الخادعة للبصر أثبتت أن إدراك الألوان يولد خواص الشكل والعمق الناشئة عنها.**
- **على وجه التخصيص، قام المؤلفون بتهيئة شكل اسمه الصورة الخادعة للبصر لـ«إهرنشتاين» للكشف عن كيفية ارتباط ألوان الأشياء وأشكالها وهيئاتها بإدراك الدماغ للعالم المرئي.**



يبين تأثير ألوان الماء - الذي يبدو فيه أن اللون الأفتح من أي لونين هو الذي ينتشر - كيف يمكن أن تكون الألوان مهمة في تحديد اتساع الأشكال وهيئتها. تظهر خريطة البحر الأبيض المتوسط، على الفور، عندما ينتشر اللون الخفيف الذي يبدو في البداية أنه يغطي البحر (*في الأعلى*) إلى نطاق اليابسة.

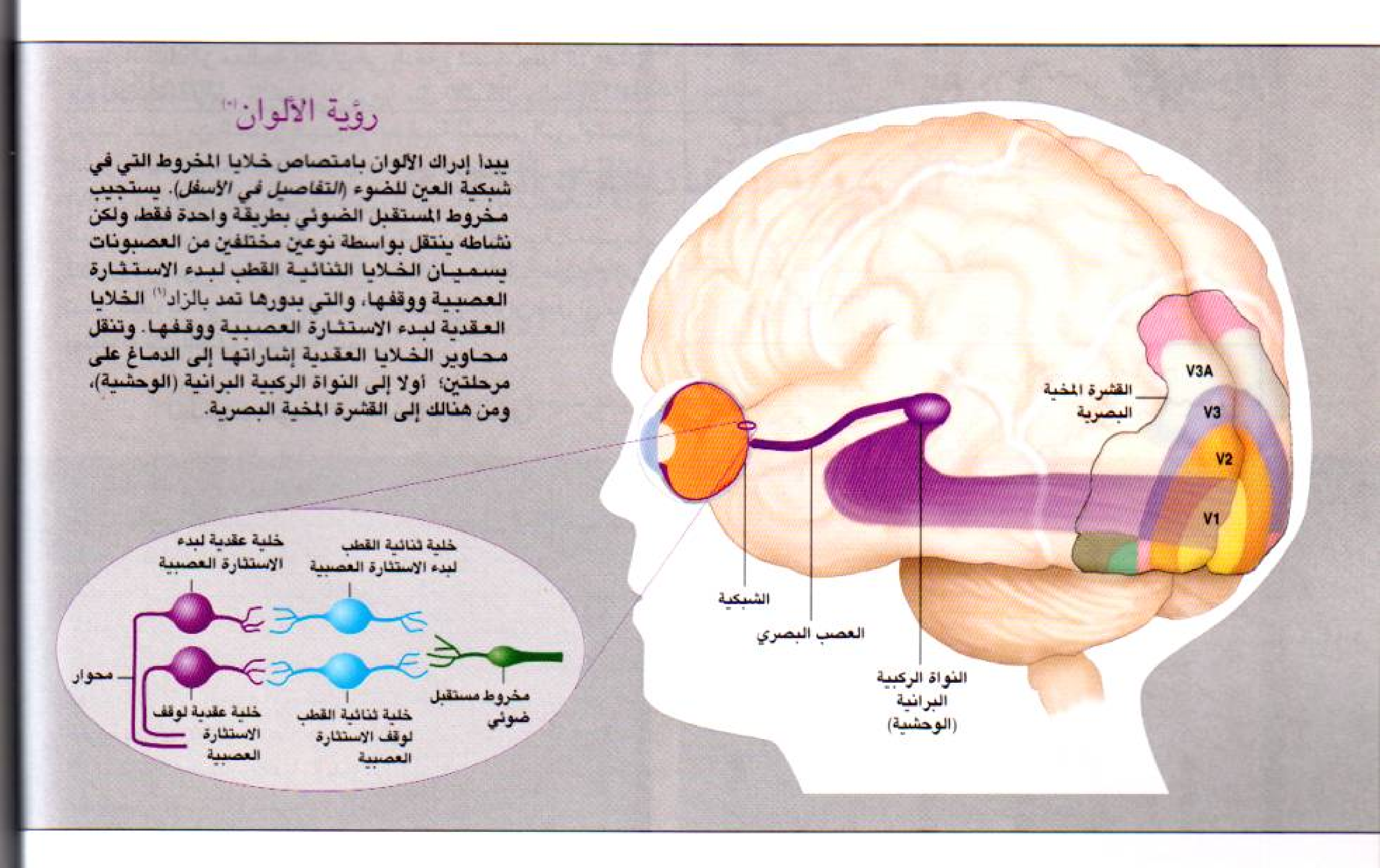
المركز والمنطقة المحيطة به يعني أن الخلايا العقدية تستجيب للتغاير، وبهذه الطريقة تزيد من شدة استجابة الدماغ للحافات والحدود.

تنقل محاوير الخلايا العقدية إشاراتها على مراحل إلى الدماغ، وبالتحديد إلى النواة الركبية البرانية (الوحشية) للمهاد (بالقرب من مركز الدماغ)، ومن هناك إلى القشرة المخية البصرية (عند مؤخر الدماغ). إن المجموعات المختلفة من الخلايا العقدية حساسة لصور مختلفة نوعا ما من المنبهات كالحركة والشكل، وتوصل أليافُها الإشارات بسرعات مختلفة، حيث تنتقل إشارات الألوان على سبيل المثال بواسطة الألياف البطيئة.

ويعتقد أن حوالي 40 في المئة، أو أكثر، من الدماغ البشري يُستخدم في الإبصار. وتنتظم العصبونات في المناطق التي يتم تنبيهها مبكرا في أثناء المعالجة الإبصارية (وهي أجزاء من القشرة المخية البصرية تسمى V1، V2، V3) في خرائط توفر تمثيلا لمجال الإبصار نقطة إلى نقطة. ومن هنالك تنتشر الإشارات البصرية إلى أكثر من 30 منطقة مختلفة متصلة معا بواسطة أكثر من 300 دائرة. وكل منطقة من هذه المناطق لها وظائف متخصصة، مثل معالجة الألوان والحركة والعمق والشكل، ولكنها لا تنقل حصريا خاصية إدراكية واحدة. وفي النهاية، تتجمع كل هذه المعلومات بطريقة ما في إدراك حسي متكامل للشيء ذي الشكل الخاص واللون الخاص. ولم يتمكن علماء الأعصاب حتى الآن من فهم تفاصيل كيفية حدوث ذلك.

ومن المثير للاهتمام أن إصابة مناطق إبصارية معينة على جانبي الدماغ بالتلف تؤدي إلى حدوث عجز في إدراك الأشكال

(*) Pathways to Illusions
(1) center-surround recepter field
(**) Overview/ Color Vision



وكذلك الألوان، وهذا دليل آخر على أن لون الشيء ليس منفصلا عن خواصه الأخرى. ويمكن أن يؤدي تمازج الإشارات اللونية في الدماغ مع الإشارات الناقلة للمعلومات المتعلقة بأشكال الأشياء إلى إدراكات حسية غير متوقعة من تحليل أطوال موجات الضوء المنعكس من تلك الأشياء ـ كما أوضحت ذلك بشكل مذهل صورنا الخادعة للبصر.

تأثير ألوان الماء(**)

لقد أوضحت واحدة من تجاربنا المبكرة مع الألوان الخادعة للبصر كيف يمكن أن تكون الألوان مهمة لتحديد مساحة أي شكل من الأشكال وهيئته بدقة. يمكن أن يتغير لون الشيء في حالات معينة استجابة للون المحيط به، بحيث يصير أكثر اختلافا عنه (ويسمى ذلك تغايرا أو تباينا) أو أكثر مشابهة له (ويسمى ذلك تشابها أو تماثلا). وقد وُصِف حدوث انتشار اللون المشابه فقط عبر مساحات ضيقة، متوافقا مع النتائج البحثية التي وجدت أن غالبية الاتصالات في ما بين العصبونات الإبصارية في الدماغ ذات مدى قصير نسبيا. لذلك اندهشنا حين وجدنا أنه عندما تكون مساحة غير ملونة مطوقة بخطي حدود كفافيين مختلفي اللون ـ بحيث يكون الخط الكفافي الداخلي أفتح من الخط الكفافي الخارجي ـ فإن لونا خفيفا ينبعث من الخط الكفافي الداخلي منتشرا عبر تلك المساحة بأكملها، بل حتى عبر مسافات طويلة إلى حد ما [*انظر الشكل في الصفحة 59*].

ولما كان اللون يشبه نسيجا شفافا باهتا كالذي نراه في صورة بألوان الماء، سمينا هذه الصورة الخادعة للبصر تأثير ألوان الماء. لقد وجدنا أن انتشار اللون يتطلب أن يكون خطا الحدود الكفافيين متماسين، بحيث يمكن أن يؤدي اللون الداكن دور الحاجز الذي يسمح بانتشار اللون الفاتح على الداخل في الوقت الذي يحول فيه دون انتشاره للخارج. ويبدو الشكل المحدد باللون المائي الخادع للبصر كثيفا ومرتفعا ارتفاعا طفيفا، ولكن حينما ينعكس لونا الخط الكفافي المزدوج تبدو هذه المنطقة نفسها بيضاء بياضا باهتا ومرتدة ارتدادا طفيفا.

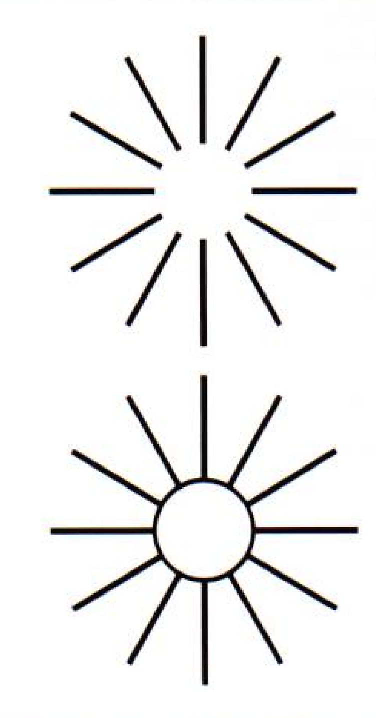
إن تأثير ألوان الماء يحدد ما الذي سيصبح شكلا وما الذي سيصير **أرضية** ground بقوة أكثر حتى من الخواص التي اكتشفها **علماء النفس الجشطلت**(2) عند بداية القرن العشرين، مثل القرب والامتداد الأملس والإغلاق والتماثل وهلم جرا. إن جانب الخط الكفافي المزدوج ذا اللون الفاتح يملأ ما بداخله باللون المائي ويتم إدراكه كشكل، في حين يُدْرَك الجانب ذو اللون الداكن كأرضية. ويساعد عدم التماثل هذا على إبطال الالتباس. وتذكرنا هذه الظاهرة بنظرية <E. روبين> [أحد رواد أبحاث الشكل والأرضية] التي تنص على أن الحد ينتمي إلى الشكل وليس إلى الأرضية.

وهناك تفسير عصبي لصورة ألوان الماء الخادعة للبصر، وهو أن المجموعة المؤتلفة من خط كفافي فاتح اللون مطوق بخط كفافي داكن اللون (حتى على خلفية أفتح لونا) تنبه العصبونات التي تستجيب فقط لخط حدود كفافي فاتح اللون من الداخل أكثر من الخارج، أو لخط كفافي داكن اللون من الداخل أكثر من الخارج، ولكن ليس لكليهما

(*) Seeing Color
(1) inputs
(**) The Watercolor Effect
(2) Gestalt psychologists

وعلى الأرجح **تُكوِّد**[1] ملكية الحدود في مراحل مبكرة من المعالجة الإبصارية في القشرة المخية البصرية، كما في منطقتي الدماغ V1، V2. وفي التجارب التي أجريت على النسانيس، وجد علماء الفزيولوجيا العصبية أن ما يقرب من نصف عدد العصبونات الموجودة في القشرة المخية البصرية يستجيب لاتجاه التغاير (سواء أأصبح اللون فاتحا أكثر أم داكنا أكثر)، ولذلك يمكنها أن تعيّن بدقة حدود الشكل. كما أن لهذه العصبونات نفسها دورا في إدراك العمق الذي يمكن أن يسهم في فصل الشكل عن الأرضية.

لقد أظهرت استقصاءاتنا أن الخطوط المتعرجة تحدث انتشارا أقوى لألوان الماء مما تحدثه الخطوط المستقيمة، ربما لأن الحدود المتموجة تُشغِّل عددا أكبر من العصبونات الحساسة والسريعة الاستجابة للتوجيه. ولابد أن الإشارات اللونية المنبعثة من هذه الحافات غير المستقيمة تنتشر عبر مناطق القشرة المخية التي تخدم مساحات واسعة من مجال الإبصار، بحيث يستمر انتشار اللون إلى أن توفر الخلايا الحساسة للحدود الموجودة على الجانب الآخر من المنطقة المطوقة حاجزا يمنع تدفق اللون. وهكذا يكون اللون والشكل مرتبطين معا ارتباطا معقدا لا ينفصم في الدماغ والإدراك الحسي عند هذا المستوى من التحليل القشري المخي.



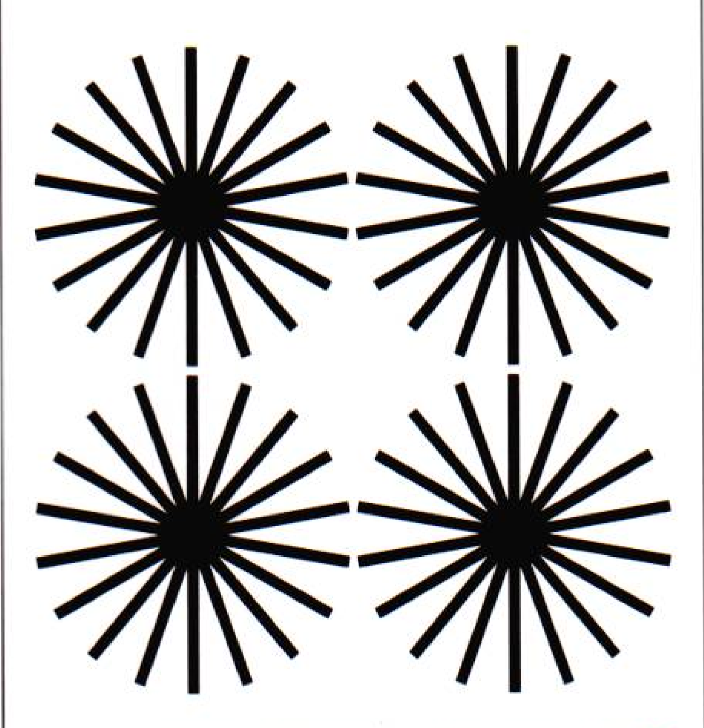
يوفر شكل إهرنشتاين الذي طوره عالم النفس الألماني <W. إهرنشتاين> في عام 1941، أساسا للخداعات البصرية التالية. تؤدي إضافة دائرة (*كما في الشكل السفلي*) إلى تلاشي الخداع البصري الذي يجعلنا نرى قرصا مركزيا ساطعا.

خطوط شعاعية(*)

تقدم صورة الخطوط الشعاعية الخادعة للبصر مزيدا من الأدلة على الدور الذي يؤديه اللون في تمييز الشكل من الأرضية. لقد أثبت عالم النفس الألماني <W. إهرنشتاين> في عام 1941 أن رقعة دائرية ساطعة تملأ بوضوح الفجوة المركزية الموجودة بين مجموعة من الخطوط الشعاعية. ولا يوجد أي ارتباط بين الرقعة والحد الدائري المحدد لها وبين المنبه المادي، فهما انطباعان خادعان متولدان منه. ويبدو السطح الساطع الخادع للبصر واقعا أمام الخطوط الشعاعية بمسافة طفيفة [*انظر الشكل العلوي في هذه الصفحة*].

ويحدد طول الخطوط الشعاعية وعرضها وعددها وتباينها شدة هذه الظاهرة. ويقتضي الترتيبُ المكاني للخطوط اللازم ليصبح الخداع البصري نافذ المفعول وجودَ عصبونات تستجيب لنهايات الخطوط. لقد تم تعيين هذه الخلايا، التي تسمى الخلايا المتوقفة الاستثارة، في نهايات الخطوط التي يمكن أن تفسر هذا التأثير في القشرة المخية البصرية. وتتحد هذه الإشارات الموضعية لتصبح زادا لعصبونات أخرى (من المرتبة الثانية) تملأ المساحة المركزية بسطوع زائد.

لقد قمنا في دراساتنا للصورة الخادعة للبصر لـ<إهرنشتاين>، بتقييم التغييرات في عدد الخطوط الشعاعية وطولها وعرضها. والأمثلة التي نعرضها في هذه المقالة تستخدم فيها المجموعة المؤتلفة من التغييرات التي



❶ تملأ رقع دائرية ساطعة الفجوة المركزية لشكل إهرنشتاين الذي تم تعديله لزيادة هذا الخداع البصري.

(1) encode
(*) Radial Lines

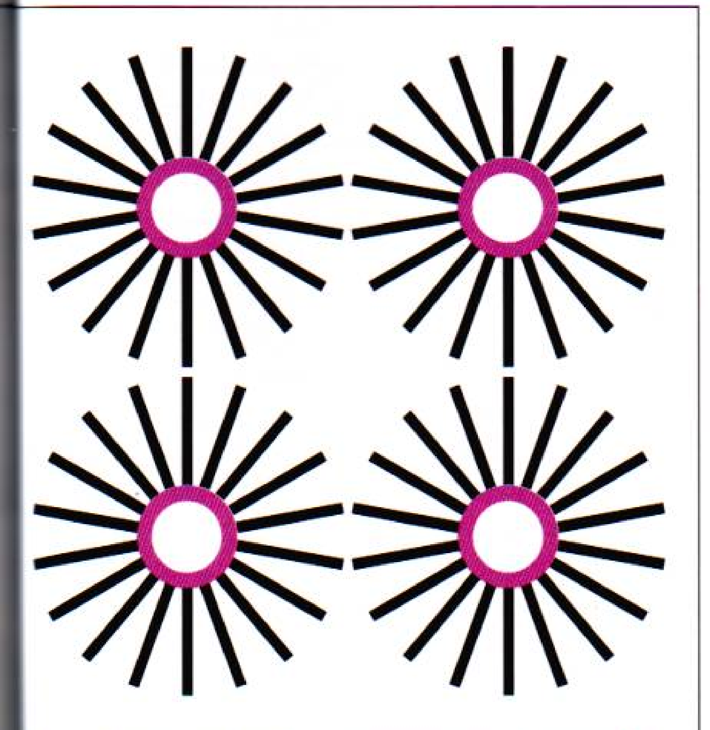
وجدناها الأكثر لفتا للنظر [انظر الأشكال المرقمة]. ولزيادة التأثيرات قمنا بعرض أربع نسخ من كل نموذج منظمةً كمجموعة. وبمجرد أن استطعنا تحديد خصائص الخطوط الشعاعية التي تنتج الدائرة المركزية الأكثر سطوعا ❶، قمنا بالتجريب مع تغيير الخواص اللونية للفجوة المركزية. فقمنا أولا بإضافة حلقة سوداء إلى شكل إهرنشتاين فاختفى سطوع الفجوة المركزية تماما وتلاشى الخداع البصري، وهو ما لاحظه <إهرنشتاين> سابقا وأشار إليه. ونحن نشتبه في أن هذا التأثير ينشأ لأن الحلقة تسكت الخلايا التي تبلغ بالإشارات نهايات الخطوط.

أما إذا كانت الحلقة ملونة، فيمكن أن تستثار خلايا أخرى بهذا التغير. فعندما أضفنا حلقة ملونة لم يَبْدُ القرص الأبيض أكثر سطوعا ولمعانا (مضيئا إضاءة ذاتية) مما كان عليه في شكل إهرنشتاين فحسب، بل كان له أيضا مظهر كثيف كما لو أن عجينة بيضاء قد وُضِعت على سطح الورقة ❷. لقد أثارت هذه الظاهرة دهشتنا، حيث إن الإضاءة الذاتية وخواص السطح لا تظهران معا عادة، بل تعتبران أيضا شكلين للمظهر متعارضين أو مانعين بالتبادل. لقد أطلقنا على هذه الظاهرة مصطلح التحريض على السطوع الشاذ، ورشحنا الخلايا الموجودة في المناطق القشرية المخية الأولية لتكون مسؤولة عن هذا الخداع البصري، كما في تأثير ألوان الماء.

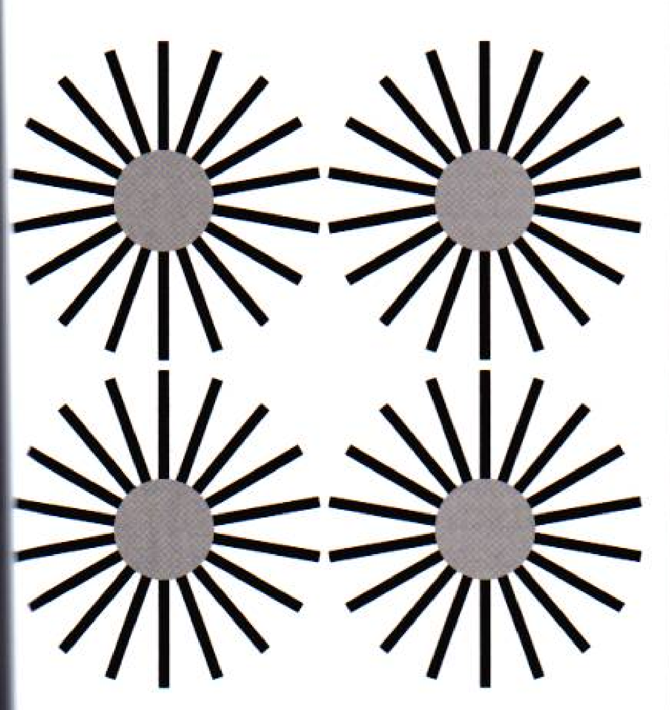
بعد ذلك قمنا بإدخال قرص رمادي في الفجوة المركزية لشكل إهرنشتاين ❸، فنشأت ظاهرة أخرى أُطلق عليها مصطلح البريق المتلألئ، والتي يفسح فيها السطوع الخادع للبصر المجال لإدراك وميض لامع يحدث مع كل حركة للنموذج أو العين. ويمكن أن يحدث التلألؤ أو اللمعان نتيجة التنافس بين جهازي بدء الاستثارة العصبية ووقفها: فيتنافس السطوع الذي تحرض عليه الخطوط (تزايد متوهم) مع اللون الرمادي الداكن للقرص (تناقص مادي). وعندما قمنا باستبدال الأقراص المركزية البيضاء داخل الحلقات الملونة بأقراص سوداء مع استخدام خلفية محيطة سوداء ❹، بدت الأقراص داكنة أكثر حتى من المساحة المحيطة بها والمطابقة ماديا لها. وبدلا من ظهورها مضيئة إضاءة ذاتية مثل الأقراص البيضاء، يحدث السواد فيما يبدو فجوة أو ثقبا أسود يمتص جميع الضوء.

عندما كان القرص المركزي داخل الحلقة الملونة رماديا بدلا من أن يكون أبيض أو أسود، فقد ظهر وكأنه أصبح ملونا باللون المتمم للون الحلقة، فتلون على سبيل المثال بلون أصفر ضارب إلى الخضرة عندما كانت الحلقة المطوقة له أرجوانية اللون ❺. إضافة إلى ذلك بدا أن القرص يلمع مع كل حركة للعين أو عند تحرك النموذج للخلف أو للأمام؛ كما بدا أنه يتحرك بالنسبة إلى المنطقة المحيطة به. ويعتمد التغاير اللوني الشاذ الوامض على الخطوط الشعاعية والحلقة الملونة مثله مثل التأثيرات الأخرى، ولكن له أيضا خواص فريدة ليست فيما يبدو مجرد مجموعة مؤتلفة من التأثيرات المعروفة الأخرى. ففي هذا الخداع البصري، يبدو اللون المُحْدَث مضيئا إضاءة ذاتية ومتلألئا، كما يبدو طافيا فوق بقية الصورة على نحو لافت للنظر، ولا يختلط لون السطح مع اللون المضيء إضاءة ذاتية، ولكن بدلا من ذلك ينتمي أحدهما إلى القرص الظاهر في *الصفحة* وينبعث الآخر من اتحاد الخصائص الأخرى للمنبهات.

في التغاير اللوني الشاذ الوامض، يمكن أن تنشط الخطوطُ



❷ **تحريض على إحداث سطوع شاذ:** إن إضافة حلقات ملونة تجعل الرقع الخادعة للبصر تبدو أكثر بياضا.



❸ **بريق متلألئ:** تسبب الأقراص الرمادية ملء الفجوة المركزية برقع دائرية وامضة.

الشعاعية العصبونات الموضعية المتوقفة الاستثارة بنهايات الخطوط، مثل ما اقتُرح بالنسبة إلى تزويد الفجوات بخطوط كفافية خادعة للبصر، ولكن تنشيط هذه الخلايا لا يفسر تفسيرا كاملا الظهور المشترك للوميض واللون المتمم. وليس واضحا فيما إذا كان للخطوط الشعاعية تأثير مباشر في التغاير اللوني أم أن زهو اللون مشتق، على نحو غير مباشر، من التلألؤ والبريق اللذين تسببهما المجموعة المؤتلفة من الخطوط الشعاعية والمركز الرمادي.

إن الفهم الحالي للدماغ لا يستطيع تفسير جميع الأمور التي تحدث في هذا الخداع البصري، وإن تعقيد هذا الخداع البصري يوحي بأن حدوثه نتيجة عملية منفردة متكاملة أمر بعيد الاحتمال، ولكنه قد يمثل محاولة من قبل الدماغ للتوفيق بين الإشارات المتنافسة الواردة من العديد من المسارات المتخصصة. ولهذا من الواضح أن على العلماء اكتشاف المزيد عن كيفية إدراك الدماغ للعالم المادي. ولحسن الحظ سوف يستمر العمل المتقدم على الألوان الخادعة للبصر لاقتراح مدخل مثير إلى تعقيدات جهاز الإبصار البشري. ■

المؤلفون

Jahn S. Werner - Baingio Pinna - Lother Spillmann

عملوا على الصور الخادعة للبصر التي عرضت في هذه المقالة على مدى العقد الماضي. حصل <ويرنر> على الدكتوراه في علم النفس من جامعة براون وأجرى أبحاثه في معهد الإدراك الحسي - TND بهولندا، وهو الآن أستاذ في جامعة كاليفورنيا بديفيز. أما <پينا> الأستاذ في جامعة ساساري بإيطاليا، فقد تلقى تعليمه الجامعي ودراساته العليا في جامعة Padua. أما <سبيلمان> [وهو رئيس مختبر الفيزياء النفسية البصرية في جامعة فريبورج بألمانيا] فقد أمضى سنتين في معهد ماساتشوستس للتقانة وخمس سنوات في مؤسسة الشبكية Retina ومستشفى ماساتشوستس للعين والأذن. وقد ابتدع كل من <پينا> و<سبيلمان> صورا من الخداع البصري تعرض في قاعة الاكتشافات العلمية بسان فرانسيسكو.

مراجع للاستزادة

Sensory Experience, Adaptation and Perception. Edited by Lothar Spillmann and Bill R. Wooten. Lawrence Erlbaum Associates, 1984.

Visual Perception: The Neurophysiological Foundations. Edited by Lothar Spillmann and John S. Werner. Academic Press, 1989.

Neon Color Spreading: A Review. P. Bressan, E. Mingolla, L. Spillmann and T. Watanabe in *Perception*, Vol. 26, No. 11, pages 1353–1366; 1997.

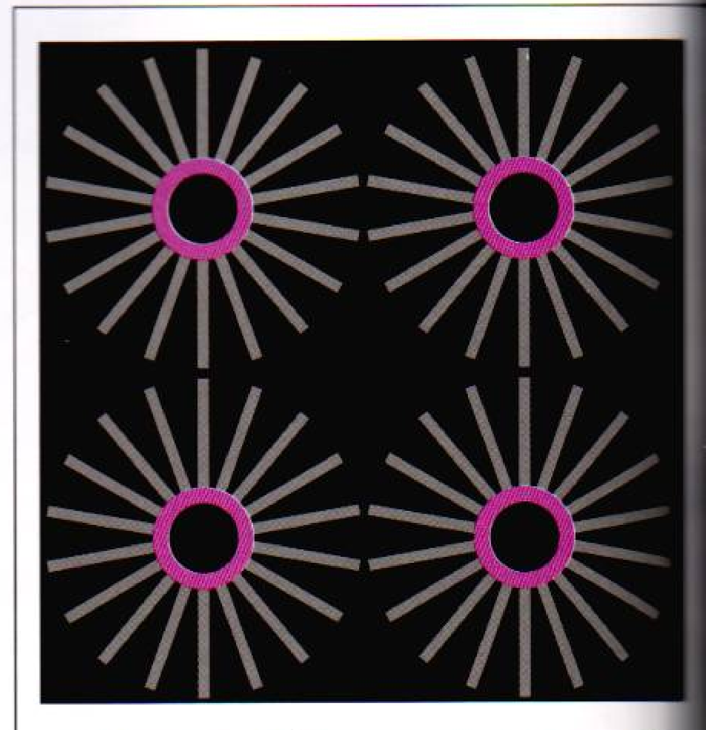
The Watercolor Effect: A New Principle of Grouping and Figure-Ground Organization. B. Pinna, J. S. Werner and L. Spillmann in *Vision Research*, Vol. 43, No. 1, pages 43–52; January 2003.

The Visual Neurosciences. Edited by L. M. Chalupa and J. S. Werner. MIT Press, 2004.

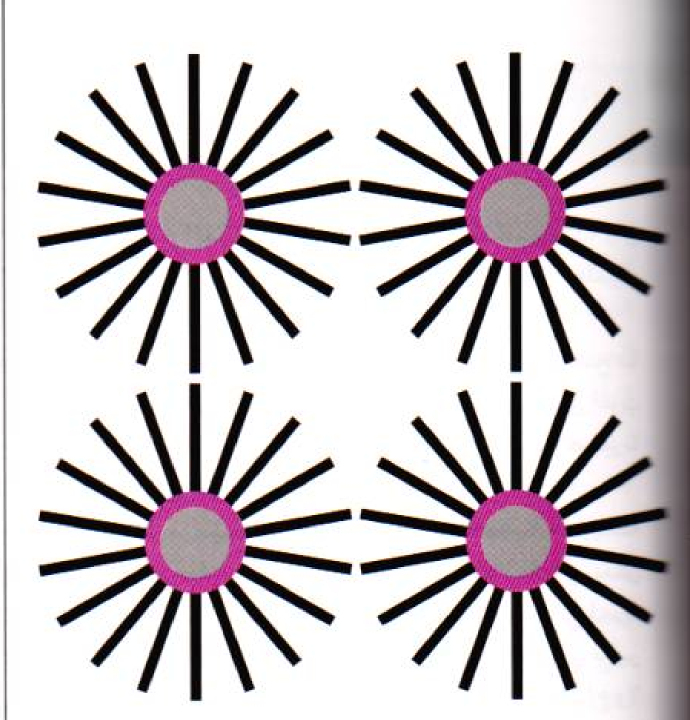
Figure and Ground in the Visual Cortex: V2 Combines Stereoscopic Cues with Gestalt Rules. F. T. Qiu and R. von der Heydt in *Neuron*, Vol. 47, No. 1, pages 155–166; July 7, 2005.

The Watercolor Illusion and Neon Color Spreading: A Unified Analysis of New Cases and Neural Mechanisms. B. Pinna and S. Grossberg in *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 22, No. 10, pages 2207–2221; 2005.

Scientific American, March 2007



❹ **التحريض على ظهور سواد شاذ:** تبدو الأقراص السوداء داخل حلقات ملونة أكثر سوادا من المنطقة المحيطة بها والمتطابقة معها ماديا.



❺ **التغاير اللوني الشاذ الوامض:** تبدو الأقراص الرمادية المطوقة بحلقات أرجوانية كأضواء وامضة لونها أصفر مشوب بخضرة عندما يتحرك النموذج أو تتحرك العين للخلف وللأمام.

يمكنك صنع ممحاة كمومية(*)



باستخدام معدات متاحة، يمكنك القيام بتجربة منزلية توضح أحد أغرب تأثيرات الميكانيك الكمومي.

<R. هيلمر> ـ <P. كويات>

على ما يبدو، تؤثر الممحاة الكمومية في أحداث الماضي، وذلك بإزالتها معلومات عن أشياء وقعت فعلا. وكمثال خيالي، يمكن لقطة أن تمر عبر طرفي شجرة في آن واحد إذا محينا بعد مرورها المعلومة المتعلقة بالطريق الذي اتبعته.

كما هو معروف، يكشف لنا الميكانيك الكمومي الغرابة الأساسية في سلوك عالمنا. فهو يتعارض مع المفاهيم القائمة على الحس المشترك السليم، والتي هي لب إدراكاتنا المعتادة للواقع: يمكن لخيارين متناقضين أن يتعايشا، كأن يتبع شيء ما مسارين مختلفين في آن واحد. فلا يمكن أن يكون للأشياء أوضاع وسُرَعٌ دقيقة في آن واحد؛ ويمكن أن تخضع خواص الأشياء والأحداث إلى عشوائية يستحيل استئصالها، لأنها لا تتصل بأي حال من الأحوال بعدم كمال أجهزتنا أو نظرنا.

لقد ولى عهد عالم موثوق تسير فيه الذرات والجزيئات الأخرى، كما تفعل كرات البلياردو على طاولته الخضراء. وعوضا عن ذلك، فهي تتصرف أحيانا كموجات تنتشر في منطقة ما وتتقاطع لتكون أنماط التداخل.

إلا أن جميع هذه الغرائب مازالت تبدو بعيدة عن الحياة العادية. ولا تتضح التأثيرات الكمومية إلا في الجمل الدقيقة، كالإلكترونات المحصورة داخل حدود الذرة. ولعلك تعلم نظريا أن الظواهر الكمومية هي أساس معظم التقنيات الحديثة، وأنه لا يمكن توضيح الغرائب الكمومية إلا في المختبرات، وأن الوسيلة الوحيدة لرؤيتها في المنزل هي برامج التلفاز العلمية. أليس كذلك؟ كلا ليس تماما.

في *الصفحتين 66 و 67* سنريك كيف نجري تجربة توضح ما يعرف باسم **الممحاة الكمومية**[1]. يتضمن هذا التأثير إحدى أغرب سمات الميكانيك الكمومي ـ القدرة على القيام بأفعال تغير تفسيرنا الأولي لما حدث في الماضي.

إلا أننا، قبل أن نشرح ما نعنيه وأن نرسم الخطوط العريضة للتجربة، نريد حرصا على مصداقية دعوانا، أن نؤكد ما يلي. يمكن النظر إلى الأشكال الضوئية، التي ستراها إذا ما نجحت في إجراء التجربة، باعتبار الضوء موجة كلاسيكية لا تتضمن أي تأثير كمومي. وهكذا فالتجربة من وجهة النظر هذه محض خداع ولا تبرهن تماما على الطبيعة الكمومية للتأثير.

ومع ذلك فإن الفوتونات التي تكوّن الموجة الضوئية ترقص الرقصة الكمومية بكاملها، من دون أدنى تغيير في غرابتها. إلاّ أنك

(*) A DO-IT-YOURSELF QUANTUM ERASER

(1) quantum eraser

ماذا تحتاج للقيام بالتجربة(*)

▪ **حجرة شديدة الظلام.**
▪ **فيلم استقطاب**(١). فيلم رمادي وحيد اللون عالي الجودة («درجة تجريبية») يعطي أفضل النتائج؛ تجنب استخدام فيلم ملون أيا كان اللون (انظر الموقع: www.sciam.com/ontheweb لمعرفة بعض أمكنة بيع الأفلام). قطّع الفيلم إلى ستة مربعات، طول ضلع كل منها بوصتان. *والمؤطر في الصفحة 68* يشرح فعل المستقطب في الفوتونات.
▪ **ليزر،** مثل مؤشر الليزر. إذا كان مصدرك ينتج ضوءا مستقطبا، وجه محور استقطابه ليصنع زاوية 45 درجة مع العمود. إذا كان شعاع الليزر غير مستقطب، ضع مستقطبا بزاوية 45 درجة مباشرة أمام الليزر عند كل خطوة. استعمل رباطا مطاطيا للإبقاء على عمل الليزر.
▪ **سلك رفيع مستقيم:** ملقط شعر أو رزّازة ورق.
▪ **ورقة قصدير (ألمنيوم) ودبوس لثقبها.** ينتشر الضوء المار عبر الثقب مكونا شعاعا مخروطيا ضيقا. ثقب الدبوس يجعل الأشكال أشد عتمة. ويمكن تحسين النتائج إذا كان ظلام الغرفة كافيا.
▪ **بعض الحوامل** لتثبيت الليزر والمُستقطبات في أمكنتها، وهذه يمكن أن تكون ببساطة كعلب الطعام.
▪ **حاجز تُعْرض عليه الأشكال النهائية.** ويفي حائط صقيل بالغرض، وإلا استعمل صفيحة من الورق.

لا تستطيع التحقق من ذلك إلا إذا أرسلت الفوتونات عبر الجهاز وكشفت عنها واحدا تلو الآخر. غير أن هذا مازال، مع الأسف، بعيدا عن متناول المجرب المنزلي. ومع ذلك فإن رصدك للأشكال في تجربتك وأخذك بالاعتبار ما تعنيه بلغة الفوتونات الفردية، سيعطيك فكرة عن غرابة عالم الميكانيك الكمومي.

إذا كنت تريد القيام مباشرة بالتجربة في منزلك، فإنها مفصّلة في ***الصفحتين 66 و 67.*** **والمناقشة التالية (والتي ستتابع في** ***الصفحة 68)*** **تدخل في علم المحاة الكمومية بصورة عامة. وسيساعدك هذا الشرح على فهم ما تبينه تجربة المحاة. وقد يكون بودك الرجوع إليها بعد رؤيتك ما تفعل هذه المحاة الخاصة.**

ما تمحوه المحاة الكمومية(**)

إن أغرب ما يتسم به الميكانيك الكمومي هو أن السلوك الذي يبديه شيءٌ ما يتوقف على ما نريد اكتشافه فيه. وهكذا يمكن للإلكترون أن يسلك سلوك جسيم أو سلوك موجة، وذلك وفق تركيب التجربة التي نخضعه لها. فعلى سبيل المثال، يظهر السلوك الجسيمي في بعض الأحوال عندما نتحقق من المسار المحدد الذي اتبعه الإلكترون، ويظهر السلوك الموجي إذا لم نقم بذلك.

يعتمد التوضيح المعهود لهذه **المثنوية**(٢) duality على ما يعرف باسم تجربة الشقين (تشبه تجربة المحاة الكمومية هذه التجربة من حيث احتواؤها على مسارين وليس على شقين). يصدر منبع للجزيئات، كالإلكترونات مثلا، جزيئات تسير في اتجاه حاجز يحتوي على شقين، تستطيع المرور عبرهما لتحط في نهاية المطاف على حاجز آخر، حيث يحدث كل جزيء بقعة. ولا يمكن التنبؤ بالموقع الذي حط فيه الجزيء فهو عشوائي إلى حد ما، إلا أن تراكم آلاف البقع ينشئ صورة يتنبأ بها. فإذا كانت ظروف التجربة تلائم السلوك الموجي، فالنتيجة هي صورة تداخل: سلسلة من قضبان غائمة، تسمى **أهدابا**(٣)، تحطّ فيها معظم الجزيئات ولا يصل سوى القليل منها إلى الفرجات التي تفصل بينها.

وتولد الجزيئات صورة تداخل في حالة واحدة فقط، وهي أن يكون الجزيء قد مر عبر الشقين معا: إذا لم يكن هناك من وسيلة لمعرفة الشق الذي مر منه فنقول عندئذ إنه لا يمكن التمييز بين المسارين وإن الجزيء يتصرف وكأنه قد مر في واقع الأمر من الشقين معا. يحدث التداخل، حسب فهمنا للميكانيك الكمومي، عندما يتحد اختياران غير متميزين على هذا الشكل.

نسمي الحالة التي يوجد فيها خياران أو أكثر **تراكبا** superposition. في عام 1935، ركز ‹شرودينگر› الانتباه على غرابة التراكب الكمومي، عندما اقترح مفهوم القطة الحية والميتة في آن واحد، الموجودة في صندوق مغلق بإحكام بحيث لا يمكن مراقبتها، وهو مفهوم صار الآن سيئ الصيت. إن في تجربة التداخل الكمومي ما يشبه **قطة ‹شرودينگر›**(٤)، إلا أنها بدلا من كونها حية وميتة في آن معا، فإنها تستطيع عندما تصل أمام الشجرة أن تمر من جانبيها في آن واحد.

وتنتهي حالة التراكب بالنسبة إلى قطة ‹شرودينگر› حالما ننظر داخل الصندوق: حيث نراها حية أو ميتة وليس في كلتا الحالتين (مع أن بعض تفسيرات الميكانيك الكمومي ترى أن المراقب هو الذي أصبح في حالة تراكب برؤية قطة حية أو قطة ميتة). وعندما نسلط الضوء في جوار الشجرة فإننا نرى القطة الكمومية تسير في أحد الاتجاهين. وعلى النحو نفسه بإمكاننا إضافة جهاز قياس يراقب مرور الجزيئات من الشقين. يمكننا أن نتخيل أننا أضأنا الشقين بحيث تتبعثر ومضة نور من المكان الذي أتى منه الجزيء؛ أي إن الومضة جعلت خياري المسار متميزين، وهو ما يقضي على التراكب. تصل الجزيئات إلى الحاجز النهائي على شكل لطخات عديمة الهيئة بدلا من وصولها على صورة أهداب. لقد أجريت تجارب تشابه هذا السيناريو، وكما يتنبأ الميكانيك الكمومي فلم تتكون أي أنماط تداخل.

في واقع الأمر، لا نحتاج إلى النظر وليس من واجبنا كشف ومضات الضوء والتحقق من الطريق الذي سلكه الجزيء. يكفينا أن المعلومة موجودة تحت تصرفنا في الومضات وأنه كان من الممكن

(*) What you will need for the experiment
(**) What a Quantum Eraser Erases
(١) polarizing film
(٢) أو الازدواجية (في السلوك).
(٣) fringes
(٤) انظر: «*بديل نظرية بوم حول تفسير ميكانيك الكم*»، **العلوم**، العددان 7/6 (1995)، ص 54.

المحو الكمومي في المنزل(*)

توضح الخطوات المعروضة هنا رؤية عملية المحو الكمومي. ولتوصيف أشمل ولمعلومات إضافية مثل مبادئ تداخل الموجات وتشكل الأهداب، انظر الموقع: www.sciam.com.



1 رؤية التداخل

- قم بلف ورقة القصدير حول طرف خروج أشعة الليزر واثقبها بدبوس لإتاحة مرور جزء من الحزمة الضوئية.
- ضع الليزر على بعد ست أقدام على الأقل من الحاجز المضاء لتتكون بقعة دائرية مضيئة عليه.
- ثبت السلك عموديا على مركز الحزمة.

ماذا سيحدث: سترى نمط تداخل مؤلف من صف من الأهداب (قطاعات مضيئة ومظلمة). ينتج التداخل لأن الضوء المار من على يسار السلك يتداخل مع الضوء المار من على يمينه. إذا وضعت قطعة من الورق قرب السلك مباشرة فسترى **فلقة** lobe من الضوء، على كل من جانبي ظل السلك. تتمدد الفلقتان وتغطي كل منهما الأخرى عندما تصلان إلى الحاجز. من المستحيل معرفة ما إذا كان الفوتون الفردي الواصل إلى الحاجز أتى من يسار السلك أو من يمينه. إن اتحاد هذين المسارين هو الذي يسبب تكون **الأهداب** fringes. ومع أنك تنظر إلى تريليونات من الفوتونات فإن كل فوتون يتداخل فقط مع نفسه.

هذه لقطة فوتوغرافية للتداخل الحاصل. إن أبعاد وسمات أنماط التداخل المرسومة في هذا المخطط مبالغ فيها.

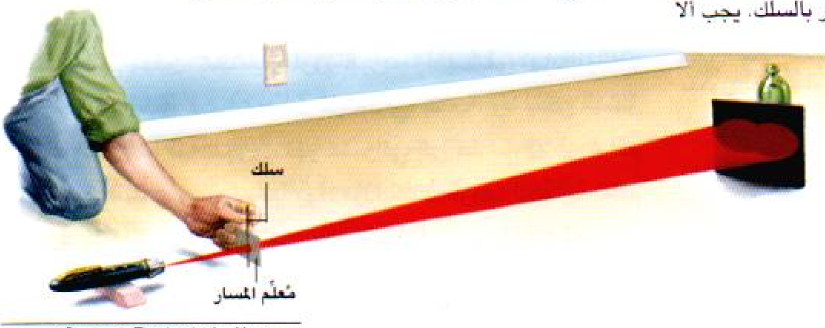
سلك
نمط تداخل
ليزر
رقيقة

2 تمييز المسار بِعلاّمات

- خذ مستقطبين وأدر أحدهما كي يصبح محوراهما متعامدين. تعرف أنك قمت بذلك فعلا إذا غطيت أحد الفيلمين بالآخر وسادت الظلمة منطقة التراكب.
- اربط المستقطبين جنبا إلى جنب من دون تغطية أو فراغ. ليكن الربط على طول المنطقتين العلوية والسفلية، بحيث لا يعترض الربط طريق الضوء ـ نسمي هذا الشيء طابع المسار.
- ضع طابع المسار في طريق الحزمة، بحيث يقع المفصل خلف السلك مباشرة. وقد يكون من الأسهل وصل طابع المسار بالسلك. يجب ألا يتزحزح هذا التركيب حتى نهاية التجربة.

نقول إن مستقطب اليسار ينتج ضوءا مستقطبا عموديا (V)، في حين ينتج مستقطب اليمين ضوءا مستقطبا أفقيا (H). هذا ولا أهمية لهذه التسمية ويمكن أن نعكسها.

ماذا سيحدث: ستختفي الأهداب على الرغم من مرور الضوء عبر جانبي السلك. إذا وصل فوتون إلى الحاجز مارا من الجانب الأيسر للسلك فإنه يصل مستقطبا عموديا (V)، وإذا وصل مارا من الجانب الأيمن فإنه يصل مستقطبا أفقيا (H)، وهكذا تكون عُلاّمتنا قد زودتنا بمعلومات عن الطريق الذي سلكه الفوتون وحال بذلك دون حدوث تداخل.



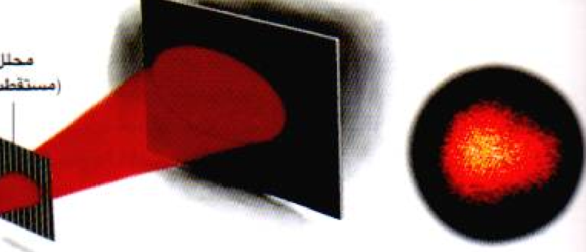
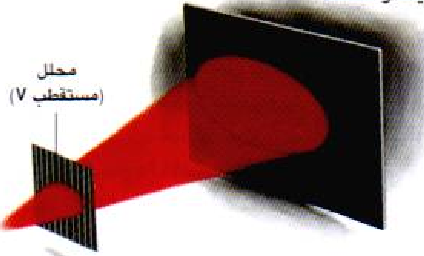


(*) Quantum Erasing in the Home

3 اختيار الفوتونات الآتية من اليسار

- قم بوضع مستقطب ثالث («**المحلل**» the analyzer) بين الطابع والحاجز في الاتجاه V.

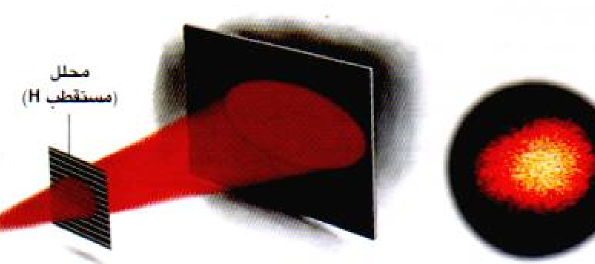
ماذا سيحدث: سيحُول المحلل دون مرور جميع فوتونات المسار الأيمن (التي أصبحت مستقطبة H عند الطابع)، ويسمح بمرور فوتونات المسار الأيسر. سيماثل نمط التداخل إلى حد بعيد شكله في المرحلة السابقة - الفارق أنه أشد عتمة ولا ينتشر بعيدا نحو اليمين، لأنه الفلقة اليسرى وحدها من الضوء. لقد أتاح لك المحلل الحصول على المعلومات التي أعدها الطابع: إنك تعرف أن جميع الفوتونات المرتطمة بالحاجز آتية من يسار السلك.

4 اختيار الفوتونات الآتية من اليمين

- ضع المحلل في الاتجاه H.

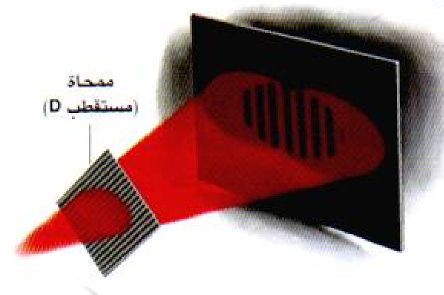
ماذا سيحدث: سيحول المحلل الأفقي دون مرور جميع فوتونات الفلقة اليسرى من الضوء ويسمح بمرور فوتونات الفلقة اليمنى وحدها. ولو كنت قادرا على قياس شدتي الضوء (أو عدد الفوتونات) على الحاجز لوجدت أن الضوء في المرحلة (2) هو مجموع الضوء في المرحلتين (3) و (4). لاحظ اختفاء الأهداب في المرحلة (2) مع أنك لم تكن متحققا من استقطاب الفوتونات. يكفي أنه كان من الممكن القيام بذلك كما في المرحلتين (3) و (4).

5 محو معلومة المسار

- أدر المستقطب 45 درجة باتجاه عقارب الساعة من الوضع V إلى اتجاه نسميه قطريا (D).

ماذا سيحدث: ستعود الأهداب إلى الظهور. لماذا؟ لأن المستقطب قام بمحو المعلومة عن الجانب الذي استعمله كل فوتون من الفوتونات. إن لكل فوتون V مار من الجانب الأيسر حظا بنسبة 50% الآن في الوصول إلى الحاجز، تماما مثلما يفعل كل فوتون H مار من الجانب الأيمن. وبهذا تصبح جميع الفوتونات مستقطبة قطريا ولم يعد من الممكن معرفة مسار الفوتون. ومن جديد يسلك كل فوتون ظاهريا كلا المسارين في آن.

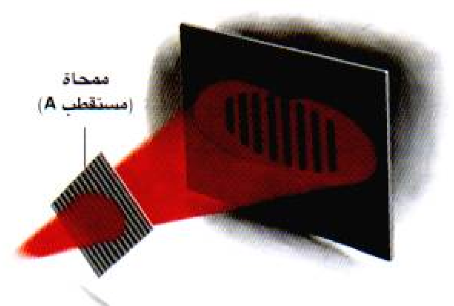




6 الممحاة المضادة

- أدر المستقطب 45 درجة باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة من الوضع V («قطري مضاد» أو "A").

ماذا سيحدث: ستظهر من جديد الأهداب وينطبق كل شيء ورد ذكره في (5) على حالة الممحاة المستقطبة A. ولكنك إن أنعمت النظر فسترى أن الأهداب قد انحرفت قليلا في الحالتين. فأهداب A المضيئة هي حيث كانت أهداب D المظلمة، والعكس بالعكس. ولو أمكنك جمع الشدتين أو عدد الفوتونات للممحاتين D و A لوجدت من جديد المرحلة (2) حيث لا تداخل.





7 الممحاتان في آن واحد

- اقطع أفقيا إلى نصفين مستقطبًا D ومستقطبًا A
- صل النصف العلوي من D بالنصف السفلي من A
- ضع المحلل الهجين في مكانه.

ماذا سيحدث: ستظهر أهداب D في النصف العلوي من الضوء، وأهداب A في النصف السفلي. يشبه الشكل الحاصل نوعا ما صف أسنان غير متراصفة، ويوضح لنا تقابل الأهداب المضيئة والمظلمة في الممحاتين.



الخلاصة

ماذا كانت الفوتونات تفعل في كل مرحلة من هذه المراحل.

- يمر الفوتون في بعضها (3 و 4) من أحد جانبي السلك (لا تداخل) في حين يبدو في بعضها الآخر (1 و 5 و 6 و 7) وكأنه يمر من الجانبين في آن (منتجا نمط التداخل).
- يعتمد تفسيرنا لما فعلته الفوتونات عند السلك على ما تعرضت له لاحقا في تجهيزات التجربة - محلل أو ممحاة أو مجرد حاجز.
- كشفت المرحلتان 6 و 7 أنه من الممكن محو معلومة الطريق بوسائل عديدة، مما ينتج صورة التداخل الأصلية أو مقلوب هذه الصورة.

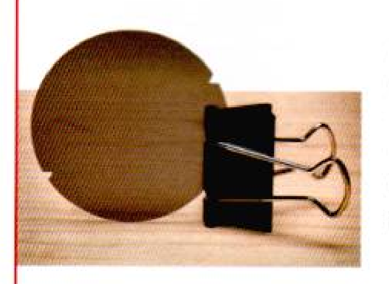


ماذا تفعل المستقطبات للفوتونات(*)

للفيلم المستقطب **محور** axis (نمثل اتجاهه في مخططاتنا بخطوط على الفيلم)، ويسمح المستقطب بمرور الضوء الذي توازي اهتزازاته اتجاه المحور. يمكنك أن تتصور الضوء كموجة على حبل يمسك شخصان بطرفيه. يمكن للموجة أن تجعل الحبل يتحرك صعودا وهبوطا أو من جانب إلى آخر أو بزاوية ما بين هذين الاتجاهين. إن زاوية الاهتزاز هي ما نسميه استقطاب الموجة.

يشبه الفيلم المستقطب حاجزا مؤلفا من قضبان متوازية يمر عبرها الحبل؛ فهي تسمح بمرور موجات مستقطبة بالتوازي معها دون عائق، في حين تعترض الموجات العمودية عليها كليا وتسمح للموجات بزوايا أخرى أن تمر ولكن بسعة اهتزاز أقل. إن أهم شيء في الأمر هو أن الموجة (إن وجدت) النافذة عبر المستقطب مستقطبة استقطابا موازيا لمحور إرسال المستقطب.

إن الوصف الكمومي لما يحدث للضوء المار عبر الفيلم المستقطب يختلف بعض الشيء عما قلناه؛ فالضوء مكون من جزيئات فردية هي الفوتونات، وللفوتون كما للموجات اتجاه اهتزاز. يمر الفوتون عبر المستقطب كل مرة يصطدم فيها بمستقطب ذي محور إرسال مواز لمحور استقطاب الفوتون. يحول المستقطب العمودي دون مرور الفوتون على الدوام، في حين تصل فرصة الفوتون للمرور إلى 50% عندما يكون محور الاستقطاب بزاوية 45 درجة (يتغير الاحتمال بتغير الزاوية). والأهم في الأمر أن استقطاب الفوتون بعد عبوره يصبح موازيا لمحور إرسال المستقطب.



ويمكن للضوء أيضا أن يكون غير مستقطب، بمعنى أن للفوتونات المكونة للضوء استقطابات عشوائية. وفي هذه الحالة يمر نصف الفوتونات عبر المستقطب ويصبح استقطاب هذا النصف موازيا لمحور المستقطب.

يمكنك أن ترى كيفية عمل المستقطبات بوضع اثنين منهما معا، فترى بتدوير أحدهما متى يكون محوراهما متوازيين أو متعامدين أو يصنعان زاوية ما فيما بينهما. فالصورة واضحة في الحالة الأولى، وتكاد لا ترى شيئا في الحالة الثانية، وترى إلى حد ما في الحالة الثالثة؛ ذلك أن الفوتونات التي تمر عبر المستقطب الأول أصبحت مستقطبة، وأصبح احتمال مرورها من المستقطب الثاني متوقفا على الزاوية بين استقطابها (الذي هو استقطاب المستقطب الأول) ومحور المستقطب الثاني.

يحدث تأثير مهم عند وضع مستقطب بين مستقطبين متعامدين (الأفضل في اتجاه 45 درجة بينهما): إن وضع المستقطب الثالث يسمح بمرور بعض الضوء، مع أنك قد تتوقع منه أن يكون عقبة أمام الضوء. (هل تستطيع تفسير ما يحدث؟ انظر الجوابَ على الموقع www.sciam.com). تعتمد تجربة الممحاة الكمومية على مستقطب بزاوية 45 درجة في تغيير ما يفعله الضوء.

رصدها على هذا النحو.

لقد وصلنا الآن إلى الممحاة الكمومية. إن الممحاة هي شيء ما يستطيع محو المعلومة التي عينت مسار كل جزيء من الجزيئات، معيدة بذلك عدم التمييز بين الخيارين ومرجعة من ثم صورة التداخل.

كيف يمكن للممحاة القيام بذلك؟ لنتصور أن «الومضة الضوئية» التي **يبعثرها**(1) الجزيء مكونة من فوتون واحد. يعني كشف الفوتون عن معلومة الطريق الذي سلكه الجزيء أنه من الممكن (من حيث المبدأ على الأقل) تحديد الشق الذي أتى الفوتون منه. يجب أن يكون بمقدورنا والحالة هذه قياس الموضع الذي تبعثر الفوتون منه بدقة كافية تتيح لنا التفريق بين الشقين. إلا أن مبدأ عدم التحديد لهايزنبرگ يعلمنا أننا عندما نقوم، بدلا من قياس الموضع، بقياس **الاندفاع**(2) بدقة كبيرة فإن الموضع يصبح غير معروف بشكل جيد. وهكذا فإن تمريرنا للفوتونات عبر عدسة يتيح معرفة اندفاعاتها لكنه يمحو معلومة مواضعها، وعندما يحدث ذلك يصبح مسارا الجزيئات غير متميزين من جديد، وترجع صورة التداخل.

لقد أهملنا مسألة تفصيلية حساسة سنعود إليها لأننا نريد أن نتوقف هنا للتفكير بإمعان فيما يحدث في سيرورة المحو التي عرضناها للتو، ذلك أن الغرابة تكمن فيها تحديدا. إن كشف الموضع الذي تبعثر منه أحد الفوتونات يعلمنا عن الشق الذي عبر منه الجزيء المبعثر. وهذا يعني أن الجزيء قد مر عبر أحد الشقين وليس عبر الشقين معا، أما كشف عزم الفوتون فيعني استحالة معرفة الشق الذي مر منه الجزيء؛ ثم إننا نستخلص عندما نقوم بقياسات عديدة للعزوم ونرى صورة التداخل أن الجزيئات مرت عبر الشقين (وإلا فمن المستحيل حصول التداخل).

وبعبارة أخرى إن الجواب عن السؤال «هل مر الجزيء عبر شق واحد أو عبر الشقين؟» يتوقف على ما سوف نفعله بالفوتونات المقابلة بعد مرور الجزيء. وهذا كما لو أن أفعالنا بالفوتونات تؤثر في ما وقع من أحداث سابقة. ويمكننا أن نكتشف من أين مرّ الجزيء أو أن نشطب هذه المعلومة من سجل الكون.

والأغرب في هذا كله هو أننا نستطيع أن نقرر اختيار القياس الذي سنقوم به بعد مرور الجزيء عبر الشق ـ يمكن أن يكون في حوزتنا جهاز لقياس كلا الخيارين، يحوي مفتاحا يقفز بنا من طريقة إلى أخرى قبيل أن يصل الفوتون. ويسمي الفيزيائيون هذا التغيير تجربة الاختيار المؤجل، وهذه الفكرة التي اقترحها <J. A. ويلر> [من جامعة أوستن في تكساس] تعمم السيناريو الذي استعمله <نيلز بور> و<ألبرت أينشتاين> في نقاشهما عام 1935 عن الميكانيك الكمومي وطبيعة الواقع.

وهنا قد يتساءل بعض القراء عن مشكلة أساسية قد تقوض ما قمنا بشرحه للتو: لماذا لا نؤجل اختيار قياس الفوتون حتى نرى إذا كان هناك نمط تداخل؟ يمكننا في الواقع أن نرتب الأمور على هذا النحو بأن نضع الحاجز الثاني (الذي يظهر عليه نمط التداخل) قريبا من حاجز الشقين ونضع كاشف الفوتونات بعيدا كثيرا عنهما.

(*) What polarizes do to photons

(1) scatters

(2) momentum أو كمية الحركة أو الزخم

ماذا سيحصل إذا ما رأينا الأهداب التي تكونها الجزيئات واخترنا عندئذ موضع الفوتونات الذي يمنع الأهداب من التشكل؟ أليس في هذا **مفارقة**[٤]؟ لا يمكننا يقينا أن نتوقع اختفاء التداخل الذي سجلناه! توحي محاكمة مشابهة أن في مقدورنا، باستعمال تأثير الاختيار المؤجل، نقل الرسائل آنيا أيا كانت المسافات (بالاحتيال على سرعة الضوء).

إن المسألة التفصيلية الحساسة التي أهملناها سابقا هي التي ستنقذنا الآن: إن رؤية تداخل الجزيئات بعد تطبيق المحاة الكمومية تتطلب في البداية تقسيم الجزيئات إلى زمرتين ومراقبة كل واحدة على حدة. ستظهر الزمرة الأولى صورة الأهداب الأصلية، في حين تظهر الثانية مقلوب الصورة الأولى، حيث تحط الجزيئات في مناطق الصورة الأولى المظلمة وتتجنب مناطق الأهداب المضيئة. إن تضام الزمرتين معا يملأ جميع الفجوات ومن ثم يخفي التداخل.

وتزول المفارقة لأننا نحتاج إلى بيانات من قياس الفوتونات لتحديد الزمرة التي ينتمي إليها الجزيء. وهكذا فلن نستطيع ملاحظة الأهداب إلا بعد قيامنا بقياس الفوتونات، وهو السبيل الوحيد لمعرفة كيفية توزع الجزيئات بين الزمرتين. لقد جرى تقسيم الجزيئات إلى زمرتين في التجربة المنزلية بشكل آلي، لأن المرشحة المستقطبة قد أوقفت إحدى الزمرتين، ولذلك فلن ترى إلا شكل تداخل الجزيئات التي مرت من خلال المستقطب. ويمكنك أن ترى في المرحلة الأخيرة نمطي تداخل الزمرتين جنبا إلى جنب.

من الناحية العملية، قد يكون عدم قدرتنا على بث الرسائل بسرعة أكبر من سرعة الضوء مخيبا للأمل، لكن الفيزيائيين وعلماء المنطق يعتبرون ذلك سمة جيدة جدا. ■

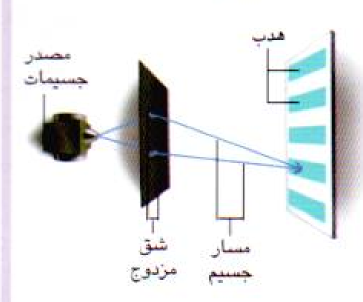
(*) How a Quantum Eraser Works
(١) creating quantum interference
(٢) preventing interference
(٣) eraser restores interference
(٤) paradox

كيف تعمل المحاة الكمومية[*]

كيف يمكن أن يعتمد سلوك الجسيمات الكمومية على طبيعة المعلومات التي يمكن الحصول عليها. تزيل المحاة الكمومية بعض المعلومات، وبذلك تستعيد ظاهرة التداخل. ويمكن فهم عمل المحاة بسهولة أكثر بأن ندخل في اعتبارنا تجربة «الشق المزدوج» (*في الأسفل*).

إحداث تداخل كمومي[١]

تولد الجسيمات المرسلة عبر الشقين نُطُقا (تسمى هُدُبا) على شاشة الكاشف، عندما تصل أعداد هائلة من الجسيمات إلى بعض المناطق (*باللون الأزرق*) وأعداد قليلة جدا إلى مناطق أخرى (*باللون الأبيض*). ونموذج التداخل هذا فقط ينتج إذا استطاع كل جسيم أن ينتقل خلال كلا الشقين لكي يصل إلى الحائل (*الأسهم*).



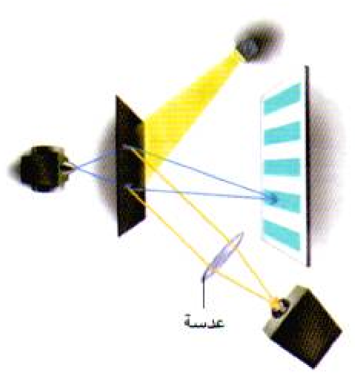
منع التداخل[٢]

لن تظهر الهدُب إذا تفاعلت الجسيمات مع شيء ما يمكن بذلك استخدامه للتأكد من موقع كل جسيم عند الشقين. على سبيل المثال، قد يتشتت فوتون ضوئي (*الخط الأصفر*) من الجسيم كاشفا عن مروره من خلال الشق الأيمن. لسنا في حاجة إلى اكتشاف الفوتون - كل ما يهمّ هو أن معلومة «أي شق؟» أساسا يمكن تحديدها من حيث المبدأ إذا ما تم اكتشافه.



ممحاة تستعيد التداخل[٣]

تمحو المحاة الكمومية معلومة «أي شق؟». إذا شتت الجسيم فوتونا، فإنه يمكن لعدسة أن تجعل من المستحيل التأكد من أي شق جاء الفوتون. في هذه الحالة، يمر الجسيم المُناظر ظاهريا من خلال كلا الشقين، كما حدث من قبل، ويمكن ملاحظة الهدُب. أغرب سمة لهذا المحو الكمومي هو تصرف الجسيم عند الشق، حيث يبدو أنه يعتمد على ما يواجهه الفوتون بعد أن يمر الجسيم عبر الشق (الشقين).



المؤلفان

Rachel Hillmer - Paul Kwiat

كلاهما في جامعة إلينوي. «هيلمر» طالبة في مختبر «كويات». و«كويات» يشغل كرسي باردين للفيزياء، وتشمل أبحاثه ظواهر الاستنطاق الكمومي والمحو الكمومي والتطبيقات البصرية لبروتوكولات المعلومات الكمومية والدراسات غير الكمومية. وتقوم «هيلمر» بالبحث في طرق جديدة لتكويد المعلومات الكمومية في الضوء.

لمناقشات أكثر حول المحاة الكمومية، ارجع إلى الموقع www.sciam.com/ontheweb، حيث يمكنك أن تجد:

- قائمة تجارب تداخل الحافة القاطعة والمحاة الكمومية التي أجريت حديثا.
- مناقشة قصيرة حول دور المحاة الكمومية في كيفية انبثاق العالم العادي المعروف لنا من الواقع الضمني الكمومي الغريب.
- معلومات إضافية حول تجارب الاختيار المؤجل واستحالة الرسائل الأسرع من الضوء.
- بعض تجارب تتعلق بالموضوع ويمكنك إجراؤها في المنزل.

Scientific American, May 2007

البلازمونيات ميدانٌ علميٌّ واعد(*)

تقانةٌ تضغط الموجات الكهرمغنطيسية في بنىً دقيقة قد تفضي إلى ظهور جيلٍ جديد من الشيپات الحاسوبية الفائقة السرعة والكاشفاتٍ الجزيئية الفائقة الحساسية.

<H.A. أتووتر>

الضوء وسط ممتاز لنقل المعلومات.

بات استعمال الألياف الضوئية واسعَ الانتشار في جميع أنحاء العالم؛ فهي تتميَّز بالقدرة على توجيه الإشارات الضوئية التي تحمل دفقاتٍ ضخمة من الاتصالات الصوتية، وكمًا هائلا من البيانات. وقد حملت هذه القدرةُ الكبيرةُ نفرا من الباحثين على التنبُّؤ بأن التجهيزات الفوتونية ـ التي تنقل الضوءَ المرئي والموجاتَ الكهرمغنطيسية الأخرى وتعالجها ـ قد تحلُّ في يوم ما، محلَّ الدارات الإلكترونية في المعالجات الميكروية (الصُّغرية) وغيرها من الشيپّات الحاسوبية. ومن المؤسف أن يكون حجمُ التجهيزات الفوتونية وأداوِها مقيَّدَيْن بحدّ انعراج الضوء؛ إذ يتعيَّن، بسبب التداخل بين الموجات الضوئية المتقاربة، ألاّ يقلَّ عرضُ الليف الضوئي الحامل لها عن نصف طول موجة الضوء داخل المادة. وفي حالة الإشارات الضوئية المعتمدة على الشيپات والتي غالبا ما تستعمل أطوالا موجيّة قريبة من تحت الحمراء تناهز 15 000 نانومتر (أجزاء البليون من المتر)، فإن العرضَ في حدِّه الأدنى أكبر بكثير من أصغر التجهيزات الإلكترونية المستعملة حاليا. وعلى سبيل المثال فإن بعض الترانزستورات في الدارات المتكاملة السيليكونية تستعمل مقوِّمات بقياس أصغر من 100 نانومتر.

على أن العلماء يعكفون، منذ عهدٍ قريب، على دراسة جدوى تقنية جديدة لبثّ الإشارات الضوئية عبر بنىً دقيقة نانوية القياس. فقد أكَّدت تجارب الباحثين في ثمانينات القرن الماضي، أن توجيه الموجات الضوئية إلى واجهة الترابط بين معدنٍ وعازل (مادة غير موصلة، كالهواء أو الزجاج) يمكن أن يحرِّض تآثرا طنينيا بين الموجات والإلكترونات المتحركة على سطح المعدن إذا توفرت الظروف الملائمة. (في حالة استعمال معدن موصل، لا تكون الإلكترونات شديدةَ الارتباط بالذرات أو الجزيئات المنفردة.) وبعبارة أخرى، فإن ذبذبات الإلكترونات عند السطح تطابق ذبذباتِ الحقل الكهرمغنطيسي خارج المعدن. وينجم عن ذلك تولُّد **بلازمونات سطحية** surface plasmons، وهي موجات كثافة الإلكترونات المنتشرة على امتداد الواجهة (السطح البيني) بما يشبه التموُّجاتِ الدائريةَ المتتابعةَ التي تنتشر على سطح ماء بركة عند رمي حجر فيها.

وعلى مدى العقد الماضي، وجد الباحثون أن بإمكانهم، عن طريق تصميم **واجهة المعدن العازل** metal-dielectric interface تصميما إبداعيا، توليد بلازمونات سطحية لها تردُّد الموجات الكهرمغنطيسية الخارجية نفسُه، ولكن بطولٍ موجيٍّ أقصر بكثير. وتتيح هذه الظاهرةُ انتقال البلازمونات على أسلاك نانوية القياس تسمى **الوصلات البينية** interconnects، حاملة المعلومات من جزء من المعالج الميكروي إلى جزء آخر منه. وقد تمثِّلُ الوصلاتُ البينية البلازمونية نعمة كبرى لمصمِّمي الشيپات، الذين صاروا قادرين على صنع ترانزستورات أصغر حجما وأسرع أداء من أي وقت مضى، غير أنهم يعانون الآن صعوبة أكبر في إنشاء داراتٍ إلكترونية دقيقة تستطيع نقل البيانات بسرعة عبر الشيپة.

وفي عام 2000 أطلق فريقُ العمل الذي أنتمي إليه في معهد كاليفورنيا للتقانة اسم «**البلازمونيات**» plasmonics على هذا الميدان العلمي الناشئ، مدركا أن البحث في هذا المضمار قد يؤدي إلى ظهور صنف غير مسبوق من التجهيزات. وربما غدا ممكنا في آخر المطاف استعمالُ المكوِّنات البلازمونية في مجالاتٍ واسعة من الأدوات، بهدف تحسين قدرة **الميْز**[1] resolution في الميكروسكوبات (المجاهر) العلمية، وتعزيز فاعلية **الدايودات الباعثة للضوء** light-emitting diodes (LED) وحساسية أجهزة الكشف الكيميائية

نظرة إجمالية/ البلازمونيات(**)

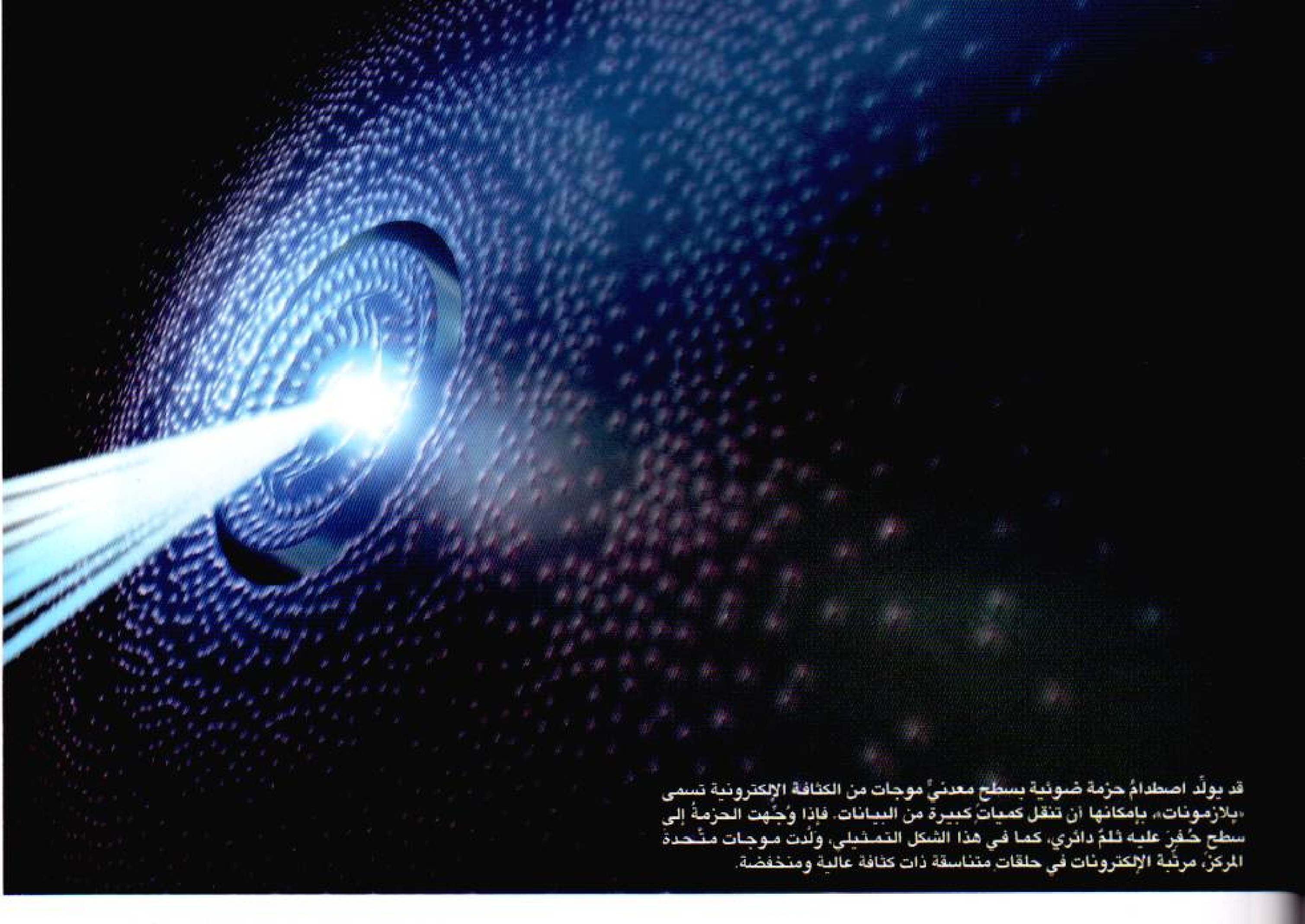
- **اكتشفَ الباحثون أن بإمكانهم ضغط الإشارات الضوئية في أسلاكٍ دقيقة باستعمال الضوء، لتوليد موجات كثافة إلكترونية تسمى «بلازمونات» plasmons.**
- **ربما تساعد الداراتُ البلازمونية مصمِّمي الشيپات الحاسوبية على صنع وصلاتٍ بينية قادرة على نقل مقاديرَ كبيرة من البيانات عبر شيپة. كذلك قد تحسِّن المكوِّناتُ البلازمونيةُ قدرةَ الميْز[1] في المعالجات الميكروية (الصُّغرية)، وفاعليةَ الدايودات الباعثة للضوء[2]، وحساسيةَ أجهزة الكشف الكيميائي والبيولوجي (الحيوي).**
- **لقد ذهبَ بعضُ الباحثين حتى إلى الاعتقاد بقدرة المواد البلازمونية على تغيير طبيعة الحقل الكهرمغنطيسي المحيط بجسمٍ ما إلى درجة تجعل هذا الجسم غير مرئي.**

(*) THE PROMISE OF PLASMONICS

(**) Overview/ Plasmonics

(1) درجة الوضوح.

(2) light-emitting diodes: عناصر شبه موصلة (نصف ناقلة)، تحوِّل الطاقةَ الكهربائيةَ إلى ضوء. (التحرير)



قد يولِّد اصطدامُ حزمة ضوئية بسطح معدنيٍّ موجات من الكثافة الإلكترونية تسمى «پلازمونات»، بإمكانها أن تنقل كمياتٍ كبيرة من البيانات. فإذا وُجِّهت الحزمةُ إلى سطح حُفِرَ عليه ثَلمٌ دائري، كما في هذا الشكل التمثيلي، وُلِدت موجات متَّحدة المركز، مرتِّبة الإلكترونات في حلقاتٍ متناسقة ذات كثافة عالية ومنخفضة.

والبيولوجية. ويُذكر أن العلماء يدرسون أيضا بعضَ التطبيقات الطبّية، وذلك بتصميم جُسَيْمات دقيقة يمكنها استعمال ما يسمى خاصّية **الامتصاص الرنيني الپلازموني** plasmon resonance absorption للقضاء على النُّسُج السرطانية مثلا؛ بل إن بعض الباحثين يفترض نظريا أن بإمكان مواد پلازمونية معيَّنة تغيير طبيعة الحقل الكهرمغنطيسي المحيط بجسم ما، إلى درجة ربما تجعل هذا الجسم غير مرئي. ومع أن هذه التطبيقات المحتملة قد لا تكون جميعها قابلة للتطبيق عمليا، يُقْبِل العلماءُ على دراسة مبحث الپلازمونيات بشغف، لأنهم يرون أن هذا الميدان العلمي الجديد يؤذن بفتح آفاقٍ من شأنها أن تسلِّط الضوء على الجوانب الغامضة من العالَم النانوي.

أطوال موجية متقلِّصة(*)

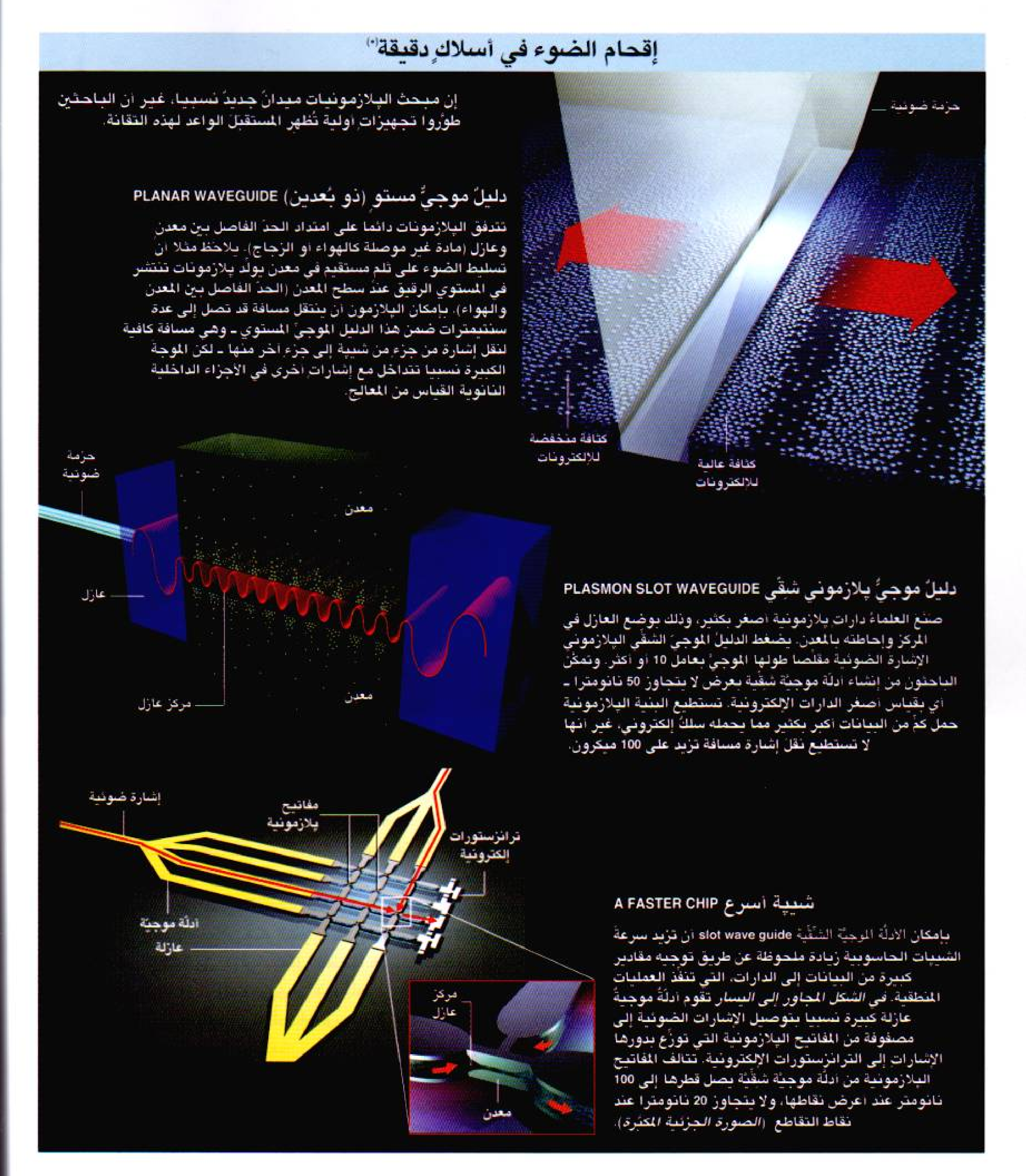
منذ آلاف السنين كان **الخيميائيون** alchemists وصانعو الزجاج يستفيدون، من غير قصد، من الآثار الپلازمونية في صناعة زجاج النوافذ الملوَّن والأقداح الملوَّنة التي تحتوي على جُسَيْمات معدنية في الزجاج. ولعلَّ أبرز مثال على ذلك **قدح لايكُرْكس** Lycurgus cup[1]، وهو قدحٌ روماني يعود إلى القرن الرابع الميلادي، وهو حاليا من مقتنيات المتحف البريطاني [*انظر الشكل في الصفحة 75*]. فعندما تحدث إثارة پلازمونية للإلكترونات في الجسيمات المعدنية العالقة ضمن القالب الزجاجي، يمتصُّ القدح الضوءَ الأزرق والأخضر، الذي يمثِّل الأطوالَ الموجيَّة القصيرةَ نسبيا من الطيف المرئي، وتُبَعْثِرُه. ويضفي التبعثرُ الپلازموني إلى القدح ظلالا لونية ضاربة للخضرة لدى النظر إليها في ضوءٍ منعكس، غير أن الزجاجَ يبدو أحمر اللون إذا وُضِعَ منبعٌ ضوئيٌّ أبيض داخل القدح، لأنه لا يبثُّ في هذه الحالة سوى الأطوال الموجيَّة الطويلة، ويمتصُّ الأطوالُ الموجيَّة القصيرة.

وقد بدأ البحثُ الجدّي في مضمار الپلازمونات السطحية في ثمانينات القرن الماضي، عندما درسَ الكيميائيون chemist هذه الظاهرة باستعمال **طيفيات رامان** Raman spectroscopy التي تتضمَّن رصدَ تبعثُر الضوء الليزري عن عيِّنة بغيةَ تحديد بنيتها من الاهتزازات الجزيئية. وفي عام 1989 وجدَ <T. إيبيسن> [من معهد أبحاث شركة نيبون اليابانية]، عندما أضاءَ **فيلما** film ذهبيا يحمل ملايين الثقوب الميكروسكوبية (المجهرية)، أن هذا الفيلم قد أنفذ كمية من الضوء أكبر مما يُتَوَقَّع من عدد الثقوب وقياساتها. وبعد تسع سنوات خلص <إيبيسن> وزملاؤه إلى أن الپلازمونات السطحية الموجودة على الفيلم كانت تزيد من شدَّة نقل الطاقة الكهرمغنطيسية.

وقد شهدَ مبحثُ الپلازمونيات جانبا آخر من التقدم باكتشاف **مواد مرفَّعة** metamaterials قد تتكشَّف ذبذباتُ الإلكترونات فيها عن خواصٍّ ضوئية مذهلة [انظر: «*البحث من أجل صنع عدسة فائقة*»، **العلوم**، العددان 3/2 (2007)، ص 60]. يضاف إلى ذلك صنفان

(*) Shrinking Wavelengths

(1) المنسوب إلى لايكُرْكس، وهو مشرِّع ومصلح إسبارطي في القرن التاسع قبل الميلاد، يُعتقد أنه واضع دستور إسبارطة القديمة ونظامها العسكري. (التحرير)



جديدان من الأدوات أسهما أيضا في إحراز تقدُّم متسارع في مجال البلازمونيات: فقد أتاح تنامي القدرة الحاسوبية حديثا للباحثين إجراء عمليات محاكاة صحيحة للحقول الكهرمغنطيسية المعقَّدة المتولِّدة بفعل تأثيرات بلازمونية؛ كما مكَّن ظهورُ طرائقَ جديدة لإنشاء بُنىً نانوية القياس من صنع واختبار تجهيزاتٍ وداراتٍ بلازمونية غاية في الصِّغر.

وقد يبدو لأول وهلة أن استعمال البُنى المعدنية لبثّ الإشارات الضوئية غيرُ عملي، لأن المعادن معروفةٌ بارتفاع نسبة فقدها الضوئي، إذ إن الإلكترونات المتذبذبة في المجال الكهرمغنطيسي تصطدم بشبكة الذرّات المحيطة، وسرعان ما تبدِّد طاقةَ ذلك المجال. غير أن نسبَ الفَقْد البلازموني تكون أدنى عند الحدّ الفاصل بين

(*) Funneling Light Into Tiny Wires

علاج السرطان پلازمونيًا(*)

ثمة علاجٌ مقترح للسرطان باستعمال الآثار البلازمونية للقضاء على الأورام. يحقن الأطباء صدفا نانويا ـ من جُسيمات من السيليكا بقطر 100 نانومتر مطلية بطبقة خارجية من الذهب (*الصورة الجزئية المكبّرة*) ـ في مجرى الدم. يندسّ الصدف النانوي داخل الورم السريع التنامي، فإذا استُهدفت المنطقة بضوء ليزري مقارب لتحت الأحمر انتقل الضوءُ عبر الجلد وأحدث ذبذبات إلكترونية رنينيّة في الصدف النانوي، متلفا الخلايا السرطانية بعد تسخينها، دون إلحاق الأذى بالنسج السليمة المحيطة.

فيلم معدني رقيق وعازل أدنى منها في داخل جملة معدنية، لأن المجال الكهرمغنطيسي ينتشر في داخل المادة غير الموصلة، حيث لا وجود لإلكترونات حرّة متذبذبة، ومن ثم لا وجود لتصادمات تُبَدِّد الطاقة. ومن شأن هذه الخاصية بطبيعتها أن تحصر البلازمونات على السطح المعدني المتاخم للعازل؛ ففي بنية **شطيرية** sandwich تحتوي على عازل وطبقات معدنية مثلا، لا تنتشر البلازمونات السطحية إلا في السطح الرقيق عند الواجهة البينية حصرا [*انظر الشكل العلوي من المؤطّر في الصفحة المقابلة*].

ولما كانت هذه البُنى البلازمونية المستوية بمثابة **أدلّة موجيّة** waveguides توجّه الموجات الكهرمغنطيسية على امتداد الحدّ الفاصل بين المعدن والعازل، فإنها قد تكون مفيدة في نقل إشارات على شيپة. ومع أن الإشارة الضوئية تتكبّد نسبةَ فَقْد أعلى في معدن منها في عازل كالزجاج، فقد ينتقل البلازمون في دليل موجيٍّ رقيق الغشاء مسافةَ سنتيمترات قبل أن يختفي. ويمكن رفع طول الانتشار إلى حدّه الأعظمي إذا ما اتّخذ الدليلُ الموجيُّ نمطا لاتناظريا يدفع جزءا كبيرا من الطاقة الكهرمغنطيسية بعيدا عن الغشاء المعدني الدليل، إلى داخل العازل المحيط، وبذلك تنخفض نسبةُ الفقد. وبسبب تآثر الحقول الكهرمغنطيسية عند السطحين العلوي والسفلي للغشاء المعدني، فإن بالإمكان تعديل تردُّدات البلازمونات وأطوالها الموجيّة بتغيير سُمك الغشاء نفسه. ويجدر بالذكر أنه في عقد التسعينات من القرن الماضي استحدثت مجموعاتُ بحث يرأسها <S. بوزيفولني> [من جامعة آلبورگ في الدنمارك] و <P. بيريني> [من جامعة أوتاوا] مكوِّنات پلازمونية مستوية ذات قدرة على أداء كثير من الوظائف (من قبيل شطر الموجات الموجَّهة) التي تؤديها عادة تجهيزات مصنوعة جميعها من مواد عازلة فقط. وربما تُثْبِت هذه البُنى فاعليتَها في نقل البيانات من جزء من شيپة إلى جزء آخر منها، غير أن الحقول الكهرمغنطيسية الملازمة للبلازمونات أوسع بكثير من أن تنقل إشارات عبر الأجزاء الداخلية النانوية القياس من المعالج.

ولتوليد پلازمونات قادرة على الانتشار عبر أسلاك نانوية

(*) Plasmonic Therapy for Cancer

القياس، تحرّى الباحثون أنماطا هندسية أكثر تعقيدا للأدلّة الموجيّة، بإمكانها تقليص الطول الموجيّ للإشارة عن طريق إقحامها في حيّز ضيّق. ففي أواخر تسعينات القرن الماضي انطلقت المجموعةُ المختبرية التي أعمل فيها شخصيا، على التوازي مع فريق بحث برأسه <J. كرين> [من جامعة گراز النمساوية] في مسعى لتوليد هذه الأدلّة الموجيّة «دون الطول الموجي» ذات البلازمونات السطحية. وقد تمكّن <S. ماير> [عندما كان يعمل معي في مختبرات كالتك] من إنشاء بنية تتألف من سلاسل خطّية نقطية من الذهب لا يتعدّى قطرُ كلٍّ منها 100 نانومتر، إذ أحدثت حزمة مرئية يبلغ طولُها الموجيّ 570 نانومترا ذبذبات طنينية في النقاط، مولّدة بلازمونات سطحية انتقلت على طول السلاسل واقتصرت على مسار مسطّح لا يتجاوز ارتفاعه 75 نانومترا. كذلك توصلت مجموعةُ جامعةِ گراز إلى نتائج مشابهة، وصوّرت أنماطَ البلازمونات المنتقلة على امتداد السلاسل. على أن معدّلات فَقْد الأسلاك النانوية الناجمة عن الامتصاص كانت عالية نسبيا، فتسبَّبَ ذلك في اختفاء الإشارة بعد انتقالها مسافة تراوح بين عدة مئات النانومترات وبضعة ميكرونات (أجزاء المليون من المتر). وهكذا ثبتَ أن الأدلّة الموجيّة لا تصلح إلا للتوصيلات البينية ذات المدى القصير جدا.

ومن حسن الحظ أن بالإمكان تخفيض معدّلات الفقد الناجمة عن الامتصاص إلى حدودها الدنيا عن طريق قلب وضع الأدلّة الموجيّة البلازمونية، بحيث يوضع العازل في المركز محاطا بالمعدن [*انظر الشكل الأوسط من المؤطّر في الصفحة 72*]. يلاحَظ في هذه التجهيزة - التي تسمى **الدليل الموجيّ الشقّي البلازموني** plasmon slot waveguide - أن تعديل سُمك المركز العازل يغيِّر من الطول الموجيّ للبلازمونات. وقد برهن المختبر الذي أعمل فيه [في كالتك] وكذلك مجموعة <M. برونگرزما> [التابعة لجامعة ستانفورد]، على أن الأدلّة الموجيّة الشقّيّة البلازمونية قادرةٌ على نقل إشارة ما مسافة قد تبلغ عشرات الميكرونات. ويُذكر في هذا السياق أن <H. ميازاكي> [من المعهد الوطني لعلم المواد في اليابان] قد أحرز نتيجة باهرة عندما نجح في إقحام ضوءٍ أحمر (ذي طول موجيّ يبلغ 651 نانومترا في الفضاء الحرّ) ضمن دليلٍ موجيٍّ شقّي بلازموني لا يتجاوز سُمكه 3 نانومترات وعرضه 55 نانومترا. ووَجد الباحثون أن طول موجة البلازمون السطحي المنتشر في أنحاء التجهيزة بلغ 51 نانومترا، أو نحو 8 في المئة من طول موجة الفضاء الحرّ.

ومن ثم صار بإمكان ميدان البلازمونيات توليد إشاراتٍ في مجال الأطوال الموجيّة الخاصة بالأشعة السينية الضعيفة النفاذية (الواقعة بين 10 و 100 نانومتر)، وذلك بإثارة المواد باستعمال الضوء المرئي. ويمكن هنا تخفيض طول الموجة بما يزيد على عامل 10 بالنسبة إلى قيمته في الفضاء الحرّ، مع بقاء تردُّد الإشارة كما هو. (تبقى العلاقةُ الأساسية بين القيمتين - التردُّد مضروبا في طول الموجة يساوي سرعة الضوء - مصونة لأن الموجات الكهرمغنطيسية تتباطأ في أثناء تحرُّكها على طول الحدّ الفاصل بين المعدن والعازل). ومن شأن هذه القدرة اللافتة على تقليص الطول الموجيّ أن تفتح الطريقَ أمام البُنى البلازمونية النانوية القياس، التي يمكنها أن تحلَّ فقط محلَّ الدارات الإلكترونية المحتوية في مكوِّناتها على أسلاك وترانزستورات.

تنتشر البلازمونات بما يشبه التموُّجات الدائرية المتلاحقة التي تتوسَّع على سطح بركة عند رمي حجر في الماء.

وكما أن **الطباعةَ الحجرية**[1] تُستعمَل حاليا في طبع نماذج الدارات على الشيپات السيليكونية، فإن من الممكن بعملية مشابهة إنتاج تجهيزاتٍ بلازمونية دقيقة على نطاق واسع، تتميَّز بأنساق من الخطوط والفجوات العازلة الضيّقة التي توجِّه الموجات ذات الشحنتين الموجبة والسالبة على سطح المعدن، علما بأن كثافات الشحنة المتناوبة تكون شبيهة جدا بالتيار المتناوب المارِّ في سلكٍ عادي. ولكن لما كان تردُّد الإشارة الضوئية أعلى بكثيرٍ من تردُّد الإشارة الكهربائية - جيگاهرتز أو يزيد مقابل 60 هرتز - فإن الدارة البلازمونية تستطيع حمل كمٍّ أكبر بكثيرٍ من البيانات. كذلك، وبسبب أن الشحنةَ الكهربائية لا تنتقل من طرف دارة بلازمونية إلى طرفٍ آخر منها - إذ تتجمَّع الإلكترونات وتتوزَّع كلاً على حدة بدلا من أن تتدفق في اتجاه واحد - فإن التجهيزة ليست خاضعة لتأثيرات **المقاومة** resistance و**المواسعة** capacitance، التي تحدُّ من قدرة الدارات المتكاملة المزوَّدة بوصلاتٍ بينيَّة كهربائية على نقل البيانات.

وقد تكون الداراتُ البلازمونية أكبر سرعة وأجدى نفعا لو استطاع الباحثون استنباط مفتاح «بلازموني» - وهو تجهيزةٌ بلازمونية ثلاثية الأطراف ذات خصائصَ شبيهة بالترانزستور. وفي الآونة الأخيرة، طوَّرت المجموعةُ المختبرية التي أعمل معها في كالتك وغيرها من مجموعات البحث، إلى عهد قريب، نماذجَ منخفضة القدرة من هذا المفتاح. فإذا نجح العلماء في إنتاج مفاتيحَ بلازمونية أعلى أداءً، فربما شكّل ذلك أساسا لمنظومة فائقة السرعة لمعالجة الإشارات تكون بمنزلة فتحٍ مبينٍ في مضمار الحوسبة في غضون 10 إلى 20 سنة من الآن.

صدف نانوي وأقنعة تَخَفٍّ(*)

على أن الاستعمالات المحتملة للتجهيزات البلازمونية لا تقتصر على مجال الحاسوب، بل تتجاوزه كثيرا؛ فقد استحدثت <N. هالاس> و <P. نوردلاندر> [من جامعة رايس] بنىً سُمِّيت **صدف نانوي** nanoshells، تتألف من طبقة رقيقة من الذهب - بسُمك نحو 10 نانومترات عادة - رُسِّبت حول كامل سطح جُسَيْم من السيليكا يقارب قطره 100 نانومتر. وعند تعريضه للموجات الكهرمغنطيسية تتولد ذبذباتٌ إلكترونية داخل **الصَّدَفة** shell الذهبية؛ وبسبب **التآثر الاقتراني** coupling interaction بين الحقول على السطحين الداخلي والخارجي للصَّدَفة، فإن تغيير حجم الجُسَيم وسُمك الطبقة الذهبية يُحدِث بدوره تبدُّلا في الطول الموجيّ الذي يمتصُّ عنده الجسيمُ الطاقة محدثا طنينا. وبهذه الطريقة يتمكّن الباحثون من تصميم صدف نانوي

(*) Nanoshells and Invisibility Cloaks
(1) lithography

لكي يمتصَّ، بصورة انتقائية، أطوالا موجيَّة قصيرة جدا لا تتجاوز بضع مئات النانومترات (النهاية الزرقاء للطيف المرئي) أو طويلة تقارب 10 ميكرونات (اللون القريب من تحت الأحمر).

وقد حوَّلت هذه الظاهرةُ الصدفَ النانويَّ إلى وسيلة واعدة لعلاج السرطان؛ ففي عام 2004 قامت <هالاس&gt، بالتعاون مع زميلتها <J. ويست> [من جامعة رايس أيضا]، بحقن صدف نانوي پلازموني في مجرى الدم لفئران مصابة بأورام سرطانية، ووجدت أن الجسيمات غير سامة، بل إنّ الصدف النانوي كان ينزع إلى الاندساس في نسج الفئران السرطانية، لا في نسجها السليمة، بسبب تدفُّق مزيد من الدماء في النواحي الوَرَميَّة السريعة التنامي. (وقد يُربَط الصدف النانويُّ أيضا **بالأضداد (الأجسام المضادة)** antibodies للتثبُّت من أنها تستهدف المواضع المصابة).

ومن دواعي السرور أن النسجَ البشرية والحيوانية تكون شفافة للإشعاع عند أطوالٍ موجيَّة تحت حمراء معيَّنة. فعندما وُجِّه ضوءٌ ليزريٌّ قريبٌ من تحتَ الأحمر عبر جلد الفئران إلى الأورام مباشرة، لوحظَ أن الامتصاص الطنيني للطاقة في الصدف النانوي المدسوس قد رفعَ درجةَ حرارة النسج السرطانية من نحو 37 درجة مئوية إلى نحو 45 درجة مئوية.

وفي حين قَتَلَ التسخينُ الحراري ـ الضوئي الخلايا السرطانية، بقي النسيجُ السليمُ المحيط دون أن يُمَسَّ بأذى. وفي حين اختفت الأعراضُ السرطانية تماما في الفئران التي عولجت بالصدف النانوي في غضون عشرة أيام، استمرت الأورامُ بالتنامي السريع في مجموعات المراقبة. هذا ويسعى حاليا مختبرُ العلوم البيولوجية الطيفية النانوية [ومقرُّه هيوستن] إلى الحصول على إذنٍ من إدارة الأغذية والعقاقير لإجراء اختباراتٍ سريرية على المداواة بالصدف النانوي لمرضى يعانون سرطاناتٍ في الرأس والعنق.

كذلك قد تُحْدِث الموادُّ الپلازمونية تغييرا جذريا في صناعة الإنارة، وذلك بجعل الدايودات الباعثة للضوء ساطعة بدرجة تضاهي المصابيح المتوهجة. ومنذ ثمانينات القرن الماضي، أدرك الباحثون أن الأثر الپلازموني اللافت للمجال الضوئي عند الحدود الفاصلة بين المعدن والعازل يمكن أن يزيد من معدَّل إصدار الأصبغة اللامعة الموضوعة قريبا من سطح المعدن. وصار من الواضح، إلى عهد قريب، أن هذا النوع من التعزيز المجالي يمكنه أن يرفع إلى حدٍّ بعيد معدَّلاتِ إصدار **النقط الكمومية** quantum dots و**المنابع الكمومية** quantum wells، وهي بنى شبه موصلة صغيرةٌ جدا تَمتصُّ الضوءَ وتُطلِقه ـ وبذلك يزيد من فعالية الدايودات الضوئية الصلبة. وفي عام 2004 برهن زميلي في مختبرات كالتك <A. شيرر>، بمشاركة زملاء من شركة نيكيا اليابانية، أن طليَ سطح دايودٍ باعث للضوء من نتريد الگاليوم بطبقاتٍ كثيفة من جسيماتٍ نانوية پلازمونية (مصنوعة من الفضة أو الذهب أو الألمنيوم) قد يزيد من شدة الضوء المنبعث 14 ضعفا.

ثم إن الجُسَيْمات النانوية الپلازمونية قد تمكِّن الباحثين من صنع دايوداتٍ ضوئية من السيليكون، ومثل هذه الأدوات أرخص تكلفة بكثير من الدايودات الضوئية التقليدية المصنوعة من نتريد الگاليوم أو زرنيخيد الگاليوم، ومع ذلك فهي مستبعَدة حاليا بسبب انخفاض معدَّلات إصدارها الضوئي. وقد أثبتت مجموعةُ العمل التي أنتمي إليها في كالتك، بالتعاون مع فريق آخر يرأسه <A. بولمان> [من معهد FOM للفيزياء الذريّة والجزيئيّة في هولندا] أن اقتران بنىً نانوية پلازمونية مصنوعة من الفضة أو الذهب بمصفوفاتٍ كمومية نقطية مصنوعة من السيليكون قد يضاعف إصدارَها الضوئي 10 مرات. يضاف إلى ذلك إمكان توليف تردُّد الإصدارات المعزَّزة عن طريق تعديل أبعاد الجسيمات النانوية. وتشير حساباتنا إلى أن التوليف الدقيق لتردُّد الطنين الپلازموني، والتحكُّم المتقن في الفصل بين الجسيمات المعدنية والمواد شبه الموصلة، ربما مكَّنانا من رفع المعدَّلات الإشعاعية بما يزيد على 100 ضعف، وبذلك تصير الدايودات الضوئية السيليكونية قادرة على الإضاءة بدرجة من التألُّق تضاهي المصابيح التقليدية.

يتغيَّر لون قدح لايكُرْكس، وهو قدح روماني يعود إلى القرن الرابع الميلادي، بسبب الاستثارة الپلازمونية للجسيمات المعدنية الموجودة ضمن قالب القدح، فيبدو القدح أحمر اللون لدى وضع منبع ضوئيٍّ داخل هذا القدح الضارب ـ بحالته الطبيعية ـ إلى اللون الأخضر.



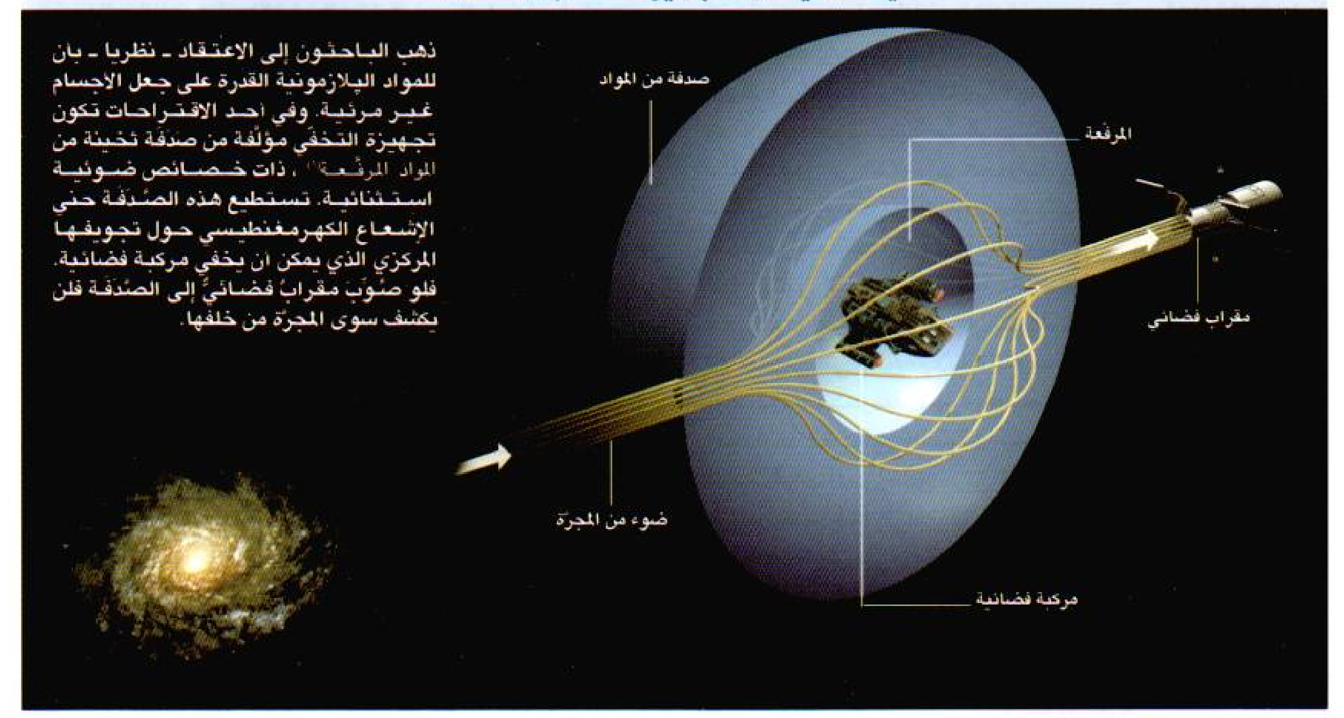


حتى إن العلماء منصرفون حاليا إلى ابتداع نظير پلازمونيٍّ للَّيزر. فقد أعطى كلٌّ من <A. ستوكمان> [من جامعة ولاية جورجيا] و<D. بيرگمان> [من جامعة تل أبيب] توصيفا لفيزياء مثل هذه التجهيزة التي أطلقا عليها اسم سپيزر SPASER (مختصر: **تضخيم الپلازمون السطحي بابتعاث الإشعاع المستَحَثّ**)[1]. ومع أن وجود السپيزر وجودٌ نظريٌّ حتى الآن، فإن الباحثين يطرحون طرائق لتصنيعه باستعمال نُقَط كمومية شبه موصلة وجُسَيْماتٍ معدنية، بحيث يجري تحويل الطاقة النسبية الناشئة عن النقط الكمومية إلى پلازمونات تخضع بعد ذلك للتضخيم في مرنانٍ پلازموني. ولما كانت الپلازمونات المتولِّدة من السپيزر أكثرَ إحكاما من الحزمة الليزرية التقليدية، فإن بإمكان هذه الأداة أن تعمل بقدرة منخفضة جدا، وأن تستثير أجساما صغيرة جدا بصورة انتقائية. ونتيجة لذلك يُنتَظَر أن تكون السپيزرات قادرة على أن تجعل الدراسات الطيفية أكثر دقَّة، وأن تمهِّد السبيل لأدوات الكشف عن المواد الخطرة في تعرُّف مقادير صغيرة جدا من المواد الكيميائية أو الڤيروسات.

ولعلَّ من أطرف التطبيقات المفترَضة للپلازمونيات ابتكار قناع للتخفّي. ففي عام 1897 نَشَرَ الروائي الإنكليزي <G. H. ويلز>

(1) surface plasmon amplification of stimulated emission of radiation.

كيف قد يمكن لتجهيزة تخفٍ أن تعمل(*)



قصة «الرجل الخفي» The Invisible Man التي تحكي تجربة عالِم شابٍّ يكتشف كيف يجعل **مُعاملَ الانكسار** refractive index لجسده مساويا لمعامِل انكسار الهواء، فصار الرجلُ غيرَ مرئي. (مُعامِل انكسار المادة يمثِّل نسبةَ سرعة الضوء في الخواء إلى سرعته في المادة). فإذا استُثيرت بنيةٌ پلازمونية بإشعاعٍ يقارب قيمةَ تردُّدها الرنيني، فذلك جدير بأن يجعل مُعاملَ انكسارها مساويا لمعامل انكسار الهواء، أي إنها عادت لا تكسر الضوءَ ولا تعكسه. وغدا بإمكان البنية امتصاص الضوء، غير أنها لو طُلِيَتْ بمادة تولِّد **كسبا ضوئيا** optical gain ـ أي تُضَخِّم الإشارةَ المبثوثة تماما كما يفعل المرنانُ في السپيزر ـ لتعادلت الزيادةُ في الشدّة مع نسب الفَقْد بالامتصاص، ولصارت البنيةُ غيرَ مرئية، على الأقل باستعمال الإشعاع في مجالٍ مختار من الترددات.

على أن قِناعَ التخفّي الحقيقيَّ يجب أن يكون قادرا على حجب كلِّ ما هو موجود ضمن البنية، وأن يعمل بفاعلية عند مختلف تردُّدات الضوء المرئي. ولاشك أن ابتداع مثل هذه الأداة سيكون أكثر صعوبة، ومع ذلك يرى بعضُ الفيزيائيين أنه غير متعذر. ففي عام 2006 برهن <B .J> بندري> [من كلية إمپيريال الجامعية، لندن] وزملاؤه على أن بإمكان صَدَفة من **المواد المرفّعة**(1) أن تغيِّر ـ نظريا ـ مسارَ الموجات الكهرمغنطيسية المرتحلة عبرها، بحيث تنحرف هذه الموجات لتدور حول منطقة كروية في داخل الصَّدَفة [*انظر المؤطر في أعلى هذه الصفحة*].

صحيحٌ أن رَجُلَ ويلْز الخفيَّ قد لا يُكتَب له أن يصبح حقيقة واقعة على الإطلاق، غير أن مثل هذه الأفكار خليقةٌ فعلا بأن تصوِّر كم هي غنيَّةٌ تلك الخصائص الضوئية التي تلهم الباحثين في مضمار البلازمونيات، وتمكِّنهم ـ عن طريق دراسة التآثر المعقَّد والمحكَم بين الموجات الكهرمغنطيسية والإلكترونات الحرَّة ـ من تعرُّف طرائقَ جديدة محتملَة لنقل البيانات في داراتنا المتكاملة وإضاءة منازلنا ومكافحة مرض السرطان. ولعلَّ الدراساتِ المستقبليةَ المتعمِّقةَ في هذه الظواهر البلازمونية المثيرة تَعِدُ بمزيدٍ من الاكتشافات والاختراعات المهمة في هذه السبيل. ■

(*) How a Cloaking Device Might Work

(1) metamaterials

المؤلف

Harry A. Atwater

*أستاذ في جامعة هوارد هيوز وأستاذ الفيزياء التطبيقية وعلم المواد في معهد كاليفورنيا للتقانة. تتركز اهتماماته البحثية على **التجهيزات الفوتونية فيما دون الطول الموجي** subwave length-scale photonic devices للحوسبة وتطبيقات التصوير الفيزيائي والطاقة المتجددة. يعكف مع فريق عمله على استنباط بنىً نانوية پلازمونية، إضافة إلى دراسة استعمال مواد جديدة لتوليد الطاقة الشمسية وتوليد أنواع الوقود الكيميائي بالطاقة الشمسية.*

مراجع للاستزادة

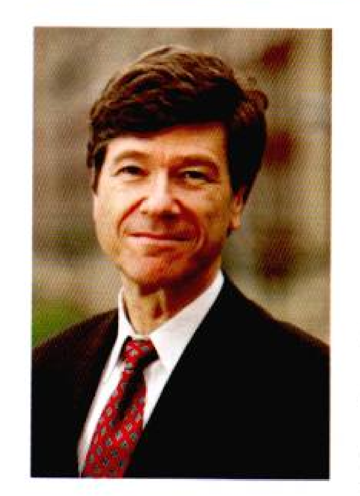
Surface Plasmon Subwavelength Optics. William L. Barnes, Alain Dereux and Thomas W. Ebbesen in *Nature*, Vol. 424, pages 824–830; August 14, 2003.

Plasmonics: Localization and Guiding of Electromagnetic Energy in Metal/Dielectric Structures. Stefan A. Maier and Harry A. Atwater in *Journal of Applied Physics*, Vol. 98, No. 1, Article No. 011101, 10 pages; July 2005.

Plasmonics: Merging Photonics and Electronics at Nanoscale Dimensions. Ekmel Ozbay in *Science*, Vol. 311, pages 189–193; January 13, 2006.

Plasmonics: Fundamentals and Applications. Stefan A. Maier. Springer Verlag, 2007.

Scientific American, April 2007



تهديدات الحرب، فرص السلام(*)

إن منع انتشار حرب سوف يعتمد على الاستراتيجيات التي تعترف بالمصالح المشتركة للخصوم.

مع أن تغير المناخ وزوال الغابات ونضوب المياه الجوفية جميعها تهديدات للتنمية المستدامة، إلا أن أكبر تهديد للرخاء في المستقبل يبقى شبح الحروب. في عام 1962، كان العالَم على شفا أزمة حرب نووية في أثناء أزمة الصواريخ الكوبية، ويمكن أن يجد نفسه بسرعة في أزمات مشابهة في جنوب آسيا أو في الشرق الأوسط أو في شبه الجزيرة الكورية أو في أية منطقة ساخنة أخرى. لقد تحولت الأزمة الكوبية بفضل بُعْد نظر الرئيس ‹جون كندي› وبراعته السياسية، إلى بداية مراقبة الأسلحة في معاهدة حظر التجارب النووية لعام 1963. ويقدم هذا الاختراق التاريخي دروسا هذا حينها لزمننا الراهن.

إن الأحداث التي جرت بين أواخر عام 1962 ومنتصف عام 1963 معروفة جيدا. فقد قامر الزعيم السوڤييتي ‹نيكيتا خروشوف› بأن حاول وضع صواريخ أرض-أرض نووية هجومية في كوبا مخلا بوعود حول اقتصار الأسلحة السوڤييتية في كوبا على الدفاعية منها. لكن الولايات المتحدة فاجأت السوڤييت في منتصف عملية تركيب الصواريخ وفرضت حظرا بحريا. فوافق السوڤييت على سحب الصواريخ الهجومية مقابل التزام من جانب الولايات المتحدة بعدم غزو كوبا وبضمان سري بإزالة الصواريخ النووية من تركيا في وقت لاحق. فبعد أن كانت الولايات المتحدة والاتحاد السوڤييتي قاب قوسين أو أدنى من الحرب قاما في غضون أشهر قليلة بتوقيع اتفاقية حظر التجارب النووية.

إذًا كيف يجري الانتقال من شفا حرب إلى معاهدة سلام اختراقية في أقل من عام؟ كانت نقطة البداية المنهجية لدى ‹كندي› هي تجنب الحط من قدر الاتحاد السوڤييتي أو الإعلان أن الخصم خبيث. وكان ‹كندي› يفترض لدى كل خطوة أن النظراء السوڤييت عقلاء، مع أنهم ليسوا بالضرورة معصومين عن الخطأ فيما يختارونه من قرارات. وكان يفترض أن الاتحاد السوڤييتي يود الحصول على مكاسب تكتيكية حين يتيسر له ذلك، ولكنه سوف يتراجع إذا كان ذلك قد يؤدي إلى تدميره.

سوف يصف علماء **نظرية المباريات** game theory المعاصرون استراتيجية ‹كندي› بأنها استراتيجية «**واحدة بواحدة، سمحة**» generous tit-for-tat (GTFT). حيث يتخذ لاعب موقفا متعاونا طالما اتخذ الطرف الآخر أيضا مثل هذا الموقف. فإذا بدأ اللاعب الثاني بالغش أوقف اللاعب الأول التعاون معه، لكي يُظهر للغشاش أن هناك عواقب وخيمة لانهيار هذه التسوية. لكن الباب يبقى مفتوحا بصورة سمحة أمام تعاون في المستقبل، إذا عاد الغشاش إلى الالتزام بالعرف. ويمكن أن يعود اللاعب الأول بصورة سمحة لبدء تعاون جديد أملا في إغراء الغشاش السابق بأن يرد بالمثل. والاستراتيجية GTFT ناجحة ومتينة لدرجة أن العديد من البيولوجيين التطوريين يفترضون أن هذه الاستراتيجية الأساسية مجبولة إلى حد ما بالمواقف البشرية.

لقد شرح ‹كندي› لاحقا أفكاره بقوله: «باختصار، لدى كل من الولايات المتحدة وحلفائها، والاتحاد السوڤييتي وحلفائه، مصلحة متبادلة عميقة في سلام عادل وحقيقي وفي وقف سباق التسلح. وإن الاتفاقيات حول هذه الغاية هي في صالح الاتحاد السوڤييتي كما هي في صالحنا... وحتى أكثر الأمم عداء يمكن أن يُعتمد عليها لكي تقبل وتلتزم بتلك الالتزامات من المعاهدة، وفقط بتلك الالتزامات من المعاهدة، التي هي في صالحها.» وأكّد على ضرورة تجنب أن يذل المرء خصمه. «وفي معظم الأحوال، ينبغي للقوى النووية، ونحن ندافع عن مصالحنا الحيوية، أن تتفادى تلك المواجهات التي تضع الخصم أمام أحد خيارين، إما تراجع مذل أو حرب نووية. واتباع مثل هذا السلوك في العصر النووي سيكون إما دلالة على إفلاس سياستنا أو على رغبة جماعية بفناء العالم.»

كانت آراء ‹كندي› راديكالية متطرفة في ذلك الوقت، لكنه كان يؤمن أن إمكانات التعاون لها مبرراتها في إنسانيتنا المشتركة. «ففي التحليل النهائي، نجد أن رابطتنا المشتركة والأساسية الأهم، هي أننا جميعا نعيش على هذا الكوكب الصغير، ونحن جميعا نتنفس الهواء نفسه، وكلنا نهتم بمستقبل أطفالنا، ونحن جميعا فانون.» وبينما نواجه التحديات والتهديدات الحالية، فسوف ننجح إذا أدركنا أن نظراءنا وخصومنا، مثلهم مثلنا، يريدون البقاء على قيد الحياة وتأمين مستقبل أطفالهم. ومثلما حدث قبل 45 سنة، قد يبرهن التبصر الثاقب على أنه المفتاح لبقائنا أحياء آمنين. ■

المؤلف
J. D. Sachs
مدير معهد الأرض Earth Institute في جامعة كولومبيا.

(*) Threats of War, Chances for Peace

الإذاعة الساتلية(*)

حُزم الأغاني

تستطيع الإذاعة الساتلية أن تبث لك برامج مئة قناة من الموسيقى والأحاديث وأنواع الرياضة عند أي ركن في شوارع بلدك. إضافة إلى ذلك يمكن لشخص مجاور لك استقبال مجموعة مختلفة من القنوات، في حين يتعذر على ثالث غير مشترك أن يستقبل شيئا على الإطلاق. إذًا كيف يمكن أن تكون الخدمة عامةً تغطي البلد بكامله، وتكون انتقائية بهذا القدر أيضا؟

تتولى ثلاث شركات توفير البث الإذاعي الساتلي في العالم: اثنتان موجَّهتان إلى الولايات المتحدة وهما الإذاعة الساتلية XM والإذاعة الساتلية سيريوس Sirius؛ وثالثة موجهة إلى إفريقيا وآسيا وأوروبا وهي الفضائية العالمية WorldSpace. أما الإذاعة XM فتستعمل **ساتلين ثابتين بالنسبة إلى الأرض**(1) geostationary satellites ونحوا من 800 **مكرِّر**(2) repeater أرضي منخفض القدرة منتشرة حول المدن الكبرى، حيث يُحتمل أن تحجب المباني العالية «**خط بصر السواتل**»(3) (*انظر الشكل العلوي*). وأما الإذاعة سيريوس فتتكون من ثلاثة سواتل طوافة في مدارات إهليلجية الشكل شديدة الميل، ونحو مئة من المكرِّرات العالية القدرة، يغطي كل منها منطقة حضرية. وكلتا **المعماريّتين** architectures توفر خدمة متساوية الوثوقية، كما يقول <D. كيبل> [أحد كبار علماء البحث في مختبر الدفع النفاث بكاليفورنيا، ومصمم مضخِّمات صوتية استُعملت سابقا في مكرِّرات أرضية].

يشير <كيبل> إلى أن «جهاز الاستقبال لدى المستعمل هو المبتكَر بين أجزاء النظام جميعها؛» إذ يلتقط **هوائيّة** antenna الإشارات الصادرة عن جميع سواتل ومكررات إحدى الشركات، سواء كان الجهاز محمولا أو مركبا في سيارة. وتقوم المعالجات الداخلية **باعتيان**(4) الإشارات الواردة واختيار أقواها، وتقوم بتحويلها حسب المطلوب باستمرار.

يقول <T. سميث> [النائب الأول لمدير التقانة في الشركة سيريوس] إن مفتاح التغطية في أي مكان وفي أي زمان يكمن إذًا في ثلاثة مستويات من التنوع: فهناك **التنوع المكاني** spatial diversity، «لأن ساتلا أو مكررًا قد يصل إلى مستمع ما حيث يفشل ساتل أو مكرر آخر في الوصول إليه.» والسواتل والمكررات تبث على أطوال موجية متفاوتة تفاوتا طفيفا، محدثة **تنوعا في التردد** frequency diversity يستطيع جهاز الاستقبال أن يختار أيا من تردداته. كذلك تُرسل الإشارات بتأخر زمني بسيط، فتسبب **تنوعا زمنيا** temporal diversity يستدرك أي انقطاعات لحظية محتملة في الإشارة.

إن أجهزة الاستقبال حساسة لجميع القنوات التي تبثها إحدى الشركات، إلا أن جارين لا يستطيعان أن يسمعا غير القنوات التي لهما اشتراك فيها. فعند الاشتراك يرسل الساتل رمزَ تفعيل متوافقا مع رقم اشتراك وحيد مختزَن في جهاز الاستقبال. يوعز الرمزُ إلى جهاز الاستقبال بحجب القنوات التي لم يطلبها المشترك. وليس في وسع الجار أن يستعمل جهاز استقبال عاما، لأن مثل هذا الجهاز لا يحمل رقم اشتراك صحيحا. ■

<M. فيشيتي>

(*) SATELLITE RADIO، والساتل هو قمر صنعي.

(1) أي يدوران متزامنين مع دوران الأرض فيبدوان ثابتين بالنسبة إليها.

(2) تجهيزة (نبيطة) تُستخدم لإعادة توليد إشارة بشدتها وشكلها الأصليين.

(3) line of sight خط مستقيم لا يوجد على طوله ما يحجب رؤية الراصد.

(4) والاعتيان هو: أخذ العينات.

(التحرير)

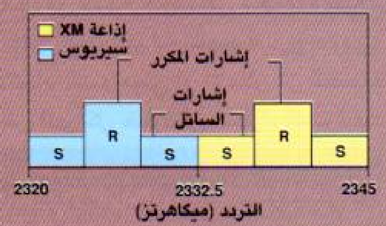
ساتل XM

تعيد المكرِّرات(2) بث إشارات الساتل. وتستعمل الإذاعة XM عادة عددا من مكررات صغيرة يوفر كل منها إشارة تراوح قدرتها بين 50 و 100 واط توزع في مواقع مختلفة من المدن الكبرى لملء الفراغات التي تسببها العوائق والالتفاف حولها. أما الإذاعة سيريوس فغالبا ما تستعمل مكررا واحدا كبيرا لإمداد مدينة كبيرة بقدرة تقع بين 400 و 2000 واط.

جهاز استقبال محمول

مكرر

يعتان(4) جهازُ الاستقبال الإشارات الواردة من السواتل والمكررات المتاحة جميعها، ويختار إذاعة أقواها في أي لحظة.



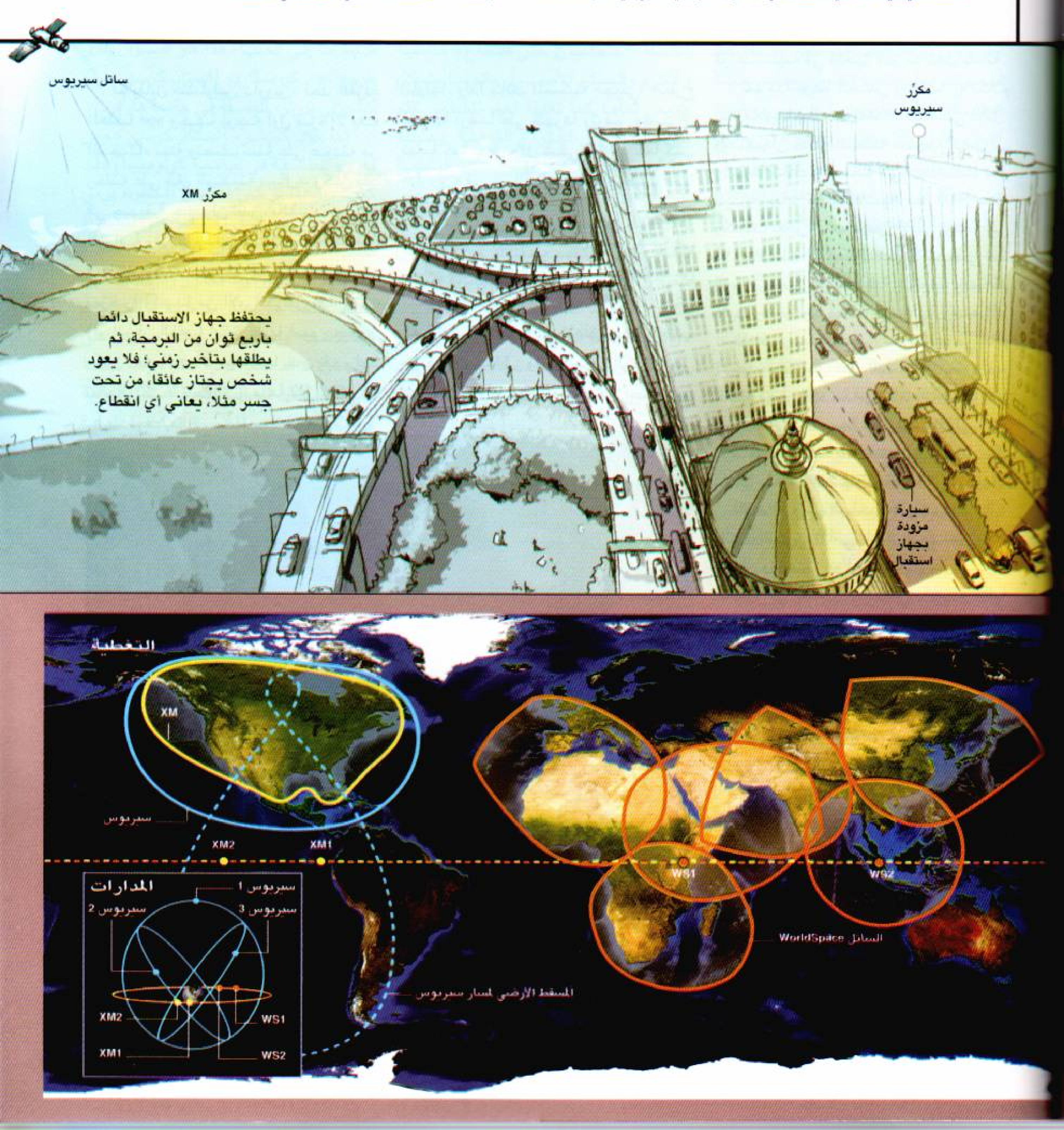
تقع ترددات الوصلة الهابطة downlink requencies التي تصدرها المرسلات المستجيبة في سواتل الإذاعتين XM و سيريوس، في نطاق الحزم الموجية S. وينشر كل ساتل قنواته المئة على امتداد 1000 تردد ضمن طيف تردده 4 ميكاهرتز يقع بين طرفي المدى المعين للشركة. وتستعمل المكررات الطيف 4 ميكاهرتز الوسطي منها. وتعيد أجهزة الاستقبال تجميع الترددات في قنوات باستعمال تقنيات الطيف المدد spread-spectrum techniques. أما الإذاعة WorldSpace فتبث في نطاق الحزم الموجية L بين الترددين 1467 و 1492 ميكاهرتز.

السواتل الثابتة بالنسبة إلى الأر... الواقعة فوق خط الاستواء تبث المجموعة الكاملة من قنوات الإذا... XM بحيث تسقط حزمها على القا... الأمريكية بزاوية محصورة بين الدرجتين 30 و 40 فوق الأفق. تستعمل الإذاعة سيريوس ثلاثة سواتل طوافة في مدارات شديدة الميل وإهليلجية الشكل، «بزاوية رؤية» أكبر من 60 درجة. وفي الو... يرسم مسقط كل ساتل مسارا أر... له شكل الرقم 8 (*الخط المنقط*) و... زهاء 16 ساعة فوق أمريكا الشما... بحيث يبقى ساتلان يستمران في البث. أما الإذاعة WorldSpace فتستعمل ساتلين ثابتين بالنسبة إلى الأرض يُصدران ثلاث حُزم ... نقطية التركيز، تحمل كل حزمة ... مجموعة مختلفة من القنوات لل... التي تغطيها.

▪ أنه عن طريق وصف الصوت الذي تحمله قناة ما بعدد مخفض من بتات البيانات، يستطيع الإذاعيون حشد عدد أكبر من القنوات (أو الصوتيات العالية الجودة) داخل شريحة طيفهم، دون الحاجة إلى تعديل أجهزة الاستقبال. عندما بدأت إذاعتا سيريوس وXM تقديم خدمتهما منذ نحو خمس سنوات، استعملتا نحو 60 قناة. ولكن تحسين أساليب ضغط compress إشارات التغذية من الاستوديو إلى الساتل رفع عددها إلى أكثر من 100 قناة. والأبحاث الصناعية جارية لمعرفة آلية تحسس جهاز السمع والدماغ البشريين بالأصوات المختلفة، بغية استنباط مزيد من خوارزميات الضغط الموفِّر للمكان.

▪ أن استديوهات بث إذاعة سيريوس في الطابق السادس والثلاثين من ناطحة سحاب في مانهاتن، وقد صبت أرضيتها الإسمنتية على قاعدة كيسية مطاطية ملئت هواءً لعزل الأرضية اللوحية عن دعامات البناء الأفقية؛ وهذا التعويم floating يُخمد الذبذبات التي تسببها حركة المرور والحفارات الهوائية وغيرهما من مسببات ضجيج المدن، والتي قد تتسرب إلى إشارة وصلة الساتل الصاعدة، إضافة إلى أن الضجيج يستنفد بتات الإشارة، إلا أن من العسير ضغطه بسبب طبيعته العشوائية.

▪ أن السواتل الإذاعية وكثيرا من السواتل التلفازية تبقى ثابتةً في مداراتها (تحت تأثير قوتي جذب الشمس والقمر) بفعل حزم من الأيونات ion beams تنطلق مرتين يوميا لمدة قد تصل في كل مرة إلى ساعة واحدة. ويُذكر أن أكثر من 30 ساتل اتصالات تستعمل حاليا حزم الأيونات هذه التي يقول عنها <كيبل> [من مختبرات الدفع النفاث] إنها تخفض من كمية الوقود التي يتعين على السواتل حملها إلى الفضاء بعامل 10، عن مقدار الدفع الكيميائي المعتاد.



عروض ومراجعات كتب

<داروين> في حديقة الحيوان(*)

هل اخترع البشر الصواب والخطأ أم إن هذه المشاعر جزء مما توارثناه عن أسلافنا من الرئيسات؟

رئيسات وفلاسفة: كيف تَنَشَأت الأخلاق
تأليف <F. دِه ڤال>

PRIMATES AND PHILOSOPHERS: HOW MORALITY EVOLVED
by Frans de Waal. Edited by Stephen Macedo and Josiah Ober
Princeton University Press, 2006.

لم يقابل <تشارلس داروين> أحد **القردة العليا** ape وجها لوجه أول مرة إلا بعد انقضاء سنة ونصف سنة على عودته من رحلته على متن السفينة «بيگل»، وكان ذلك في حديقة حيوان لندن، بالقرب من بيت الزرافة وفي يوم دافئ من أواخر الشهر 1838/3. وكانت حديقة الحيوان قد ضمت مؤخرا واحدة من الأورانگوتان orangutan (أو إنسان الغاب) أطلق عليها اسم <جيني>. وكان أحد الحراس يغيظها حين يقدم لها تفاحة ولكن لا يلبث أن يبعدها فلا تتمكن من تناولها. ولذا كانت المسكينة <جيني> «تطرح نفسها أرضا على ظهرها وترفس وتصرخ، تماما كما يفعل طفل شقي ثائر» ـ كما كتب <داروين> في رسالة إلى شقيقته يصف فيها هذا المسلك.

وكان <داروين> قد دوّن بعد رحلته في دفاتر مذكراته السرية أسس أفكاره عن التطور من جميع الجوانب والزوايا، حتى العاطفية منها. وقد أذهلته نوبة غضب <جيني>، وتساءل: ما إحساس الكائن الحي أن يكون من القردة العليا؟ هل إحساس الأورانگوتان بالإحباط وخيبة الأمل يشبه إحساسنا (نحن البشر) بذلك إلى حد كبير؟ هل انتاب هذه القردة شيء من الإحساس بالصواب والخطأ؟ وهل أصيبتْ باليأس والإحباط بسبب عدم محافظة الحارس على قواعد سليمة في اللعب؟ فهو لم يلعب بأمانة.

لقد بدأ نوعنا الخاص (الإنسان) الكلام بطلاقة وبعاطفة منذ 50 000 سنة على الأقل. ويُعتقد أن الأدلة المتعلقة بمفهوم الصواب والخطأ كانت واضحة في محادثاتنا منذ البداية. بدأنا كتابة الأشياء منذ 5000 سنة، وكانت بعض النصوص الأولى ترمز إلى الأخلاقيات. فالأعداد التي لا تحصى مما لدينا من نصوص مقدسة وقانونية ومحاكم عليا ودنيا ومحاكم ابتدائية ومحاكم استئناف ومحاكم تمييز، تعدّ فريدة في عالم الأحياء. ولكن هل نحن البشر من اخترع قيم الشعور أو الإحساس بالعدالة أم إن ذلك يعود إلى مجموعة العواطف الأولى التي ورثناها عن أسلافنا؟ وبتعبير آخر: هل نشأت مفاهيم الفضيلة أو الأخلاق بالتطور؟

لقد أمضى الباحث <فرانس دِهْ ڤال> [الهولندي، الألماني المولد، المختص بعلم النفس والأخلاق والرئيسات] جُلّ حياته العملية في التحري عن سلوك القردة العليا التي غالبا ما تعيش ضمن مجموعات حبيسة في حدائق الحيوان. وبدأ منذ كان طالبا شابا يسجل ملاحظاته (يوميا لمدة ست سنوات) لمستعمرة من الشمپانزي وهو جالس على مقعد خشبي في حديقة حيوان أرْنِمْ Arnhem. وهو اليوم يتابع أبحاثه على الشمپانزي في المركز الوطني لأبحاث



(*) DARWIN AT THE ZOO

(١) للفظ empathy معنى دقيق محدد. وتفيد معاجم اللغة الإنكليزية أنه يعني: «القدرة على الدخول في شخصية فرد آخر، وتخيل معاناة تجاربه والإحساس بها،» وهي دلالة لا تؤديها ألفاظ: التعاطف والمؤاخاة والمؤاساة ونحوها. وفي المعجم الوسيط، يقال: لابَسَ فلان فلانا حتى عرف بِخْلته وباطنه. فـ«الملابسة العاطفية» هي أقرب المقابلات العربية للمصطلح الأجنبي. (التحرير)



ملابَسة عاطفية(١): شمپانزي شاب يواسي آخر كبير السن وهو يصرخ بعد أن هزم في قتال.

الرئيسات التابع لجامعة إيموري في أتلانتا، وفي حدائق حيوان ومراكز أخرى مختصة بالرئيسات. و كان يقوم بعمله بالتعاون مع ‹جين گودالز› [الاختصاصية في دراسة الرئيسات]، مما ساعد على رفع مستوى فهم الحدس الدارويني حول تطور الأخلاق إلى مستوى جديد، واستطاع توثيق عشرات الآلاف من حالات سلوكيات الشمپانزي التي قد نصفها نحن بين أنفسنا بأنها ماكياڤيلية، وفي حالات أخرى ندعوها غيرية إيثارية، بل حتى نبيلة. وبرهن ‹دِهْ ڤال› في نشراته العلمية وكتبه الشعبية (ومنها: «***سياسات شمپانزية، داخلنا القردي وطبيعتنا الطيبة***»[1]) أن ‹داروين› كان مصيبا منذ النظرة الأولى لملاحظاته لـ‹جيني› في حديقة الحيوان. فنحن نشارك حيوانات أخرى في مشاعرنا الخاصة **بالتعاطف** sympathy **والمُلابَسة العاطفية** empathy وإدراك الصواب والخطأ؛ بل حتى أفضل ناحية من الطبيعة البشرية، الناحية المتعلقة بالاهتمام بالأخلاق والعدالة، هي أيضا جزء من سجايا الطبيعة.

ويستند كتاب ‹دِه ڤال› الأخير «***الرئيسات والفلاسفة***»[2] إلى محاضرات ‹تانر› التي ألقيت في مركز پرنستون الجامعي للقيم البشرية عام 2004. وهو يحاول في هذا الكتاب ـ كما فعل مرارا من قبل ـ أن يدحض ويفنّد الصورة الساخرة (الكاريكاتيرية) الشعبية للداروينية. فكثير من الناس يعتقدون أننا لكي نتصف بالطيبة واللطف وحسن السلوك وأن نحسن معاملة الآخرين يجب أن نترفع ونتسامى فوق طبيعتنا الحيوانية في عالَم «كلب يعض كلبا» أو كما يقول الرومان: *homo homini lupus*، أي: ***الإنسان ذئب للإنسان***[3] (وهو مثل غريب لقوم أوجدوا القصة الأسطورية التي تحكي قصة الوليد الذي أرضعته الذئبة مع صغيرها كتوأم: *قصة رومولوس وريموس*).

و كان ‹توماس H. هكسلي›، الذي نصّب نفسه الكلب الحارس (البولدُگ) لداروين، قد عزز هذه النظرة القاتمة الباردة للحياة في محاضرة شهيرة عن التطور و الأخلاق، فقال «لا يتعلق التقدم الأخلاقي للمجتمع بتقليد المسار الكوني، ولا بالفرار منه، ولكن بمحاربته.» وفي رواية «*الإخوة كارامازوف*» لـ‹F. دستويڤسكي›، يعبر ‹إيڤان› عن هذا بأسلوب آخر: في حال عدم وجود إله سوف نضيع في فوضى أخلاقية. «فكل شيء مباح.» و هذا ما أطلق عليه ‹دِهْ ڤال› اسم «**نظرية المظاهر الخادعة**» Veneer Theory. وفي وجهة النظر هذه تكون الأخلاقيات أو القيم الأخلاقية البشرية مجرد **قشرة رقيقة على سطح جرة ماخضة من ذعر يغلي**[4].

وفي الحقيقة يذكرنا ‹دِه ڤال› بأن الكلاب اجتماعية، والذئاب اجتماعية، والشمپانزي وقرود المكاك اجتماعية، ونحن أنفسنا «اجتماعيون حتى النخاع». فالطيبة والكرم والحنان الأصيل يأتوننا بشكل طبيعي تماما كما تأتينا أحطُّ المشاعر. فلم نكن نحتاج إلى اختراع الشفقة. وعندما بدأ أسلافنا بكتابة أول الأحكام الناظمة للسلوك والمبادئ الأساسية والقوانين والوصايا كانوا يحسِّنون في مشاعر نشأت قبل ولادتهم بآلاف أو حتى ملايين السنين. ويذكر ‹دِه ڤال› في كتاباته أنه «قد تكون الملابسة العاطفية نقطة البداية، بدلا من كونها نقطة النهاية.»

وبالعودة إلى الخمسينات و الستينات من القرن العشرين، نجد أن **علماء نفس الحيوان**[5]، عندما كانوا يتحدثون عن «التعاطف» و«المُلابَسة العاطفية»، كانوا دائما يضعون هذين التعبيرين بين علامتي الاقتباس («ـ»)، وهو ما يذكره ‹دِه ڤال› الذي يريد الآن إزالة علامات الاقتباس. وهو يشرح واحدة من أهم ملاحظاته وشواهده المتعلقة بحرص الحيوانات على الإنصاف: كان يُجري تجربة على أزواج من القردة **المُقَلْنَسة** capuchin التي تنجز مهمات بسيطة في أقفاصها المتجاورة. وكانت كلما أدت مهمتها بنجاح تنتظر أن تنال المكافأة، التي كانت أحيانا شريحة من الخيار وأحيانا أخرى عنبا. وكانت جميع القردة تبذل جهدها في العمل لتنال شرائح الخيار، ولكنها كانت تفضل العنب. فإذا أُعطي أحد القرود الخيار مكافأة له على الدوام وشاهد زميله في القفص المجاور يحصل على العنب فإنه يصاب بنوبة غضب شديد، كما فعلت ‹جيني داروين›. وبعد ذلك يُضرِب القرد عن الطعام أو يقوم برمي الخيار خارجَ القفص.

هل يُعَدُّ ‹دِه ڤال› محقا في كل هذه الأمور؟ في النصف الثاني من كتاب الرئيسات والفلاسفة يناقش حججه وينتقدها مجموعة من المعلقين والنقاد الذين كان كل منهم قد كتب ونشر دراسات مهمة تتعلق **بالأخلاقيات التطورية** evolutionary ethcs.
وهم يستشهدون بـ‹فرويد› و‹كانت› و‹هيوم› و‹نيتشه› و‹آدم سميث›، ويدورون حول تلك الأزواج من القردة المقلنسة.

«هل كان المُقَلْنَس يرمي الخيار عندما يقدَم لرفيقه العنب تعبيرا عن احتجاجه على الإجحاف واللاإنصاف أم إنه كان فقط ينتظر متطلعا إلى العنب؟» هذا هو السؤال الذي طرحه ‹Ch. كورسگارد› [أستاذ كرسي ‹آرثر كينجزلي پورتز› للفلسفة في جامعة هارڤرد].

أما ‹Ph. كيتشر› [أستاذ كرسي ‹جون ديوي› للفلسفة في جامعة كولومبيا] فقد كتب: «طبعا، لو كان المُقَلْنَس المحظوظ يرمي العنب حتى يحصل رفيقه على المكافأة نفسها لأصبح الأمر بغاية الأهمية.»

إنهم يختلفون ويناقشون ويتخاصمون قليلا، كما هي حال جميع الرئيسات والفلاسفة. وإنهم يسلطون الضوء ليس على التساؤلات الدائمة الأبدية فقط و إنما أيضا على التساؤلات الحالية المتعلقة مثلا باتفاقية جنيف، و«لماذا تبدو الملابسة العاطفية العامة مقترحا هشا؟»، كما يرد ‹دِه ڤال› على منتقديه. وفي نهاية الكتاب يبدو الأمر واضحا بأنه لايمكن الاستمرار في النظر إلى الأخلاق أو الفضيلة على أنها قشرة حضارية رقيقة فوق حيوان بارد وأناني، مع أن وجهة النظر هذه تعود إلى فترة طويلة سبقت ذهاب ‹داروين› إلى حديقة الحيوان. و يكمن أصلها في المفهوم الغربي للخطيئة الأصلية ـ عندما أكل آدم و حواء تفاحتهما الأولى. ■

(1) Chimpanzee Politics, Our Inner Ape and Good Natured
(2) Primates and Philosophers
(3) يقابله بالعربية: «*إذا لم تكن ذئبا أكلتك الذئاب*».
(4) a thin crust on a churning urn of boiling funk
(5) animal psychologists

عرض ومراجعة
Jonathan Weiner
حصل على جائزة پوليتزر في عام 1995 عن «**منقار الحسون**» The Beak of the Finch. *وهو يُدرِّس الكتابة العلمية في مدرسة الصحافة بجامعة كولومبيا.*

أخبار علمية

ذرات محتجَزة فوق شيپة[*]

ربما تفضي الشيپات الميكروية التي تتحكم في الذرات السابحة فوقها إلى ظهور حواسيب كمومية جديدة.

حتى عهد قريب كانت مصيدة الذرات النموذجية تتألف من شبكة معقدة من الملفات الكهربائية، تُصنع وفقا لمواصفات محددة، ثم تُضبط ضبطا دقيقا، ويقوم على صيانتها ثلة من طلبة الدراسات العليا المكرسين لذلك. أما اليوم فقد بات بإمكان العلماء تطويع تقانة الشيپات الميكروية (الصغرية) لصنع أجهزة منمنمة رصينة لاحتجاز سُحُب دقيقة من الذرات المبردة والتحكم فيها. وقد عرضت مجموعات بحث في الولايات المتحدة والنمسا وألمانيا نماذج ذرية من الألياف الضوئية والعدسات **الشاطرة للحزم الضوئية**[1] beam splitters، إضافة إلى **سير (حزام) ناقل مغنطيسي** conveyor belt لنقل الذرات بدقة ـ وجميع ذلك على تجهيزات تشبه في مظهرها شيپات حاسوبية بسيطة. ويقول <J. رايشل> [من معهد ماكس پلانك **للضوئيات الكمومية** quantum optics في گارشينك بألمانيا]: «هذه المصايد الميكروية هي أداة واعدة للحصول على تآثرات كمومية مترابطة على المستوى الذري، وتلك هي أهم مكونات الحاسوب الكمومي.»

ومنذ ما يزيد على عقد من الزمن يقوم الفيزيائيون باحتجاز ذرات (كتلك التي تتكون فيما يسمى تجارب تكاثف بوز-آينشتاين)[2] ومعالجتها باستخدام أدوات ميكروسكوبية (مجهرية). تولِّد الملفات الكهربائية في هذه العملية حقولا مغنطيسية تحتبس سحابة من الذرات، وتبردها إلى ما دون جزء من الألف من الكلفن، أي أعلى بقليل من الصفر المطلق. وفي عام 1995 اقترح <K. G. ليبرشت> وأحد تلاميذه [في معهد كاليفورنيا للتقانة] إمكان صنع مصايد ميكروسكوبية للذرات على شيپات. وبعد ست سنوات أصبح الاقتراح حقيقة واقعة باستخدام أسلاك مصنوعة بطريقة الطباعة الحجرية[3] على سطوح الشيپات، لتوليد حقول مغنطيسية بإمكانها احتباس الذرات وتوجيهها وهي على ارتفاع عشرات إلى مئات الميكرونات فوق سطح الشيپة.

ومازال إنتاج الذرات التي تقل درجة حرارتها عن الميلي كلفن يُجرى حاليا ضمن مصايد معهودة، ومن ثم تُنقل إلى الشيپات، على أن يتم ذلك كله داخل **حجرة تفريغ (خوائية)** vacuum chamber. ومن مزايا المنظومات المعتمدة على الشيپات إحكامٌ أكبر للاحتباس ودقة التصاميم التي يمكن تنفيذها وسهولة بناء المنظومات المعقدة. يقول <J. شميدماير> [من جامعة هايدلبرگ]: «إذا نجحت في صنع تجهيزة واحدة على الشيپة، فأنت قادر بالتأكيد على صنع مليون منها.»

ولعل من أبسط الأدوات **دليل الموجة** wave guide، وهو المكافئ لليف ضوئي بالنسبة إلى الذرات؛ ذلك أن التيار الكهربائي الذي يمر في واحد أو أكثر من الأسلاك يولد حقلا مغنطيسيا ينضم إلى الحقول الخارجية. ويكون الحقل الكلي أضعف ما يمكن على ارتفاع قصير فوق السلك على امتداد مساره، وذلك يُحدث قناة تحصر الذرات المغنطيسية المبرَّدة. وفي عام 1999 قام <D. Z. أندرسون> و<E. A. كورنل> وزملاؤهما [في المعهد المشترك للفيزياء الفلكية المختبرية وجامعة كولورادو في بولدر] بنقل ذرات مبرَّدة حول عدة منحنيات باستعمال أدلة كهذه على ركيزة من **السفير**[4] sapphire. كذلك أجرت <M. برينتس> ومساعدوها [من جامعة هارڤرد] تجارب على توجيه الذرات فوق الشيپات.

ويتحدث <شميدماير> وفريقه في مقالات حديثة لهم عن شاطرة حزمة للذرات على



يستطيع حزام ناقل على شيپة أن يزلق الذرات على امتداد المسار المركزي الذي يبلغ عرضه 50 ميكرونا.

شيپة نانوية القياس، صنعوها عندما كانوا في جامعة إينسبروك بالنمسا. يعمل جهازهم على أسلاك بعرض 10 ميكرون ـ وهي أصغر ما استُعمل من أسلاك في هذه التجارب ـ صُنعت بوساطة حفر طبقةٍ من الذهب على ركيزة من زرنيخيد الگاليوم. يلاحظ انشطار السلك، وكذا حقله المغنطيسي الموجِّه للذرات، إلى شكل Y. ويمكن التحكم في التيارات ضمن السلك بحيث يتجه نصف عدد الذرات المتحركة على امتداد جذع الشكل Y إلى داخل إحدى الذراعين، في حين يدخل نصفها الآخر الذراع الأخرى، تماما شأن الفوتونات التي إما أن تنعكس وإما أن تنتقل محمولة على شاطرة حزمة ضوئية. وكان فريق البحث في

(*) TRAPPED OVER A CHIP

(1) شاطرة الحزمة: مرآة من نوع خاص تعكس جزءا من الحزمة الضوئية التي تقع عليها، وتنقل جزءا آخر.

(2) Bose-Einstein condensation : ظاهرة تشاهد عند دراسة نظم البوزونات، إذ توجد درجة حرارة حرجة تكون تحتها الحالة الساكنة لأدنى طاقة للجسيمات شديدةَ الازدحام [انظر: «بوز-آينشتاين»، العلوم، العدد 11 (2000)، ص 54].

(3) lithograph

(4) ياقوت أزرق.

(التحرير)

حزمة الذرات تنشطر بوساطة دليل موجي مغنطيسي نانوي القياس.

كولورادو قد عرض في مطلع عام 2000 شاطرة حزمة أكبر مؤلفة من دليليْ ذرات يتقاطعان على شكل X ضيق جدا.

تنتقل الذرات المنفعلة على امتداد الأدلة الموجية هذه، مدفوعة بطاقتها الحرارية. وقد عرض <رايشل> و<W .T. هينش> ومساعدوهما حزاما ناقلا يقوم بترحيل الذرات ترحيلا فاعلا. فقد استعاضوا عن المسار المنتظم ذي الحقل الضعيف فوق سلك الدليل بشبكة أسلاك ذات مسننات تربيعية على كل من الجانبين تجزّئ الأنبوب المغنطيسي إلى سلسلة من مصايد للذرات بطول 0.5 مليمتر. ويؤدي تغيير التيارات الكهربائية إلى تحريك المصايد على طول الدليل حاملة ذراتها معها (يمكن الاطلاع على فيلم يوضح هذه العملية في الموقع: www.mpq.mpg.de/~jar/conveyor.html).

ويمكن استعمال الحزام الناقل لتحريك الذرات في حاسوب كمومي من بوابة منطقية إلى أخرى، إضافة إلى إمكان إجراء تجارب أساسية بوسائل شتى، منها مثلا فصل سحابة من الذرات - أو الدالة الموجية لذرة وحيدة - ثم جمعها من جديد بغية دراسة التداخل الكمومي.

على أن بعض القضايا بهذا الشأن مازالت محل تساؤل: فجميع التجارب التي أجريت استُعملت فيها ذرات في عدد من الحالات - أي إن السُّحُب لم تكن في حالة كمومية صرفة، وهذا مطلب حاسم للحوسبة الكمومية، التي تعتمد على انحفاظ الشروط الكمومية مثل التراكب superposition. يُذكر أن فريقيْ كولورادو و<رايشل> يعملان حاليا على تمرير نواتج تكاثف بوز-أينشتاين عبر تجهيزات الشيپات الميكروية، وهذا يمثل تطورا يؤذن بانطلاق دراسات كمومية حقيقية.

ويرى <رايشل> أن مصايد الذرات على الشيپات الميكروية، وإن كانت في بداية الطريق، هي من أكثر الوسائل التي يُؤمل نجاحها في مجال الحواسيب الكمومية المتوسطة المرتبية، لأن «من الميسور رفع [الشيپات الميكروية الذرية] إلى أعداد أكبر من **البتات الكمومية** qubits». ويشير <شميدماير> إلى احتمال ظهور مشكلات قد تفسد الفائدة المرجوة من شيپات الذرات في معالجة المعلومات الكمومية. ويقول: «سيتبين لنا في غضون خمس سنوات هل هي مشكلة فيزيائية تستحق الاهتمام، أم أنها أداة يمكننا استعمالها فعلا.» ■

<G .P. **كولينز**>

عصف القذائف[*]

سلاح إلكتروني لا يحتوي على قطع ميكانيكية ويقذف مليون طلقة في الدقيقة.

«عندما يسمع المرء للوهلة الأولى عن سلاح ناري لا يحتوي على أية قطعة ميكانيكية متحركة، فإنه ينزع إلى الضحك. لقد حدث الأمر معي شخصيا، واضطررت لأن أُمسك نفسي عن القهقهة.» هذا ما يذكره الفيزيائي <A. دروبوت> [من الشركة العالمية للتطبيقات العلمية (SAIC) ومقرها سان دييگو، وهي تهتم بتقييم التقانات الجديدة]، قبل أن يضيف: «ولكن عندما ترى شريط الڤيديو المسجل عليه اختبار الرمي، فإن الدافع إلى القهقهة سرعان ما يتلاشى.»

والسلاح المعني، الذي أُطلق عليه اسم «**العاصف المعدني**»[1] Metal Storm، غريب عن المألوف، حتى بنظر مخترعه؛ فهو لا يحتوي على قادح ولا زناد ولا **كتلة مغلاق**[2]، ولا حتى على أغلفة مقذوفات تُلفظ. والأغرب من ذلك أنه قادر على إطلاق النار من ماسورة (سبطانة) واحدة بمعدّل مليون طلقة في الدقيقة. وبالمقارنة، فإن أسرع الأسلحة النارية المعهودة (المعروفة باسم بنادق گاتلينگ Gatling) لا تطلق إلا 6000 طلقة في الدقيقة.

أما أصول العاصف المعدني فهي غير مألوفة أيضا. فقد اخترع السلاح **مُرَقّق حرفي**[3] tmberer أسترالي يعيش منعزلا ويدعى <M. أودوَيَر>، وقد كان في السابق يبيع البقالة بالجملة، ولم يدرس في حياته رسميا علم القذائف ولا الهندسة. وكانت براءات الاختراع التي حصل عليها من قبل تتعلق بأدوات مثل الأحذية الرياضية المبرَّدة بالهواء («يُضخ الهواء عبرها بفعل الجري،» كما يقول). ومع ذلك، وبعد 15 عاما من التجربة والخطأ في منزله في مدينة كوينزلاند طلع <أودوير> بنموذج أولي من سلاح رشاش استطاع أن يطلق 180 طلقة من عيار 9 مم خلال 0.01 ثانية، أثناء عرض جرى مؤخرا أمام عناصر عسكرية في أدلّيد. وتنطلق طلقات «العاصف المعدني» من ماسورتها بسرعة، بحيث إن الفاصل بين طلقتين متلاحقتين منها من مرتبة **الميكروثانية**[4] - عندما تنطلق طلقة في الهواء فإن الطلقة التالية تبعد عنها 10 سم (4 إنشات) فقط إلى الوراء. أما في الأسلحة الآلية المتوافرة حاليا، فإن تلك الفرجة بين الطلقات هي بحدود 30 مترا.

ويقول الرائد <D. كوين> [خبير الأسلحة في «مقر قيادة الدفاع الأسترالية»] إن «بإمكان هذه التقانة أن تحل محل التقانات

(*) TAKING BALLISTICS BY STORM

(١) أو وابل المعادن.

(٢) breechblock

(٣) مصلِّح عام (على قدر استطاعته).

(٤) أي جزء من مليون جزء من الثانية. (التحرير)

المعتمدة لدينا حاليا في ميدان المعركة.» فالسلاح المعني مثالي في ظروف الالتحام، مثلا عند الدفاع عن السفن ضد الصواريخ القادمة. وقد علق ‹كوين› قائلا: إنه يمكن استخدام هذا المدفع الرشاش لكسح الألغام البرية في المناطق المفتوحة، كالصحراء الكويتية مثلا، بأن تحلق حوامة فوق الرمال وتطهر حقل الألغام عن طريق رشه من بعد، مؤدية إلى تفجير الألغام من دون ضرر.

ويعمل السلاح عن طريق الجمع بين طلقات مصممة تصميما خاصا وآلية إطلاق إلكترونية يصفها ‹أودوير› بأنها «ماسورة معلق فيها سلك كهربائي.» وتصطف الطلقات المجردة من غلافها المعدني داخل الماسورة رأسا لِعَقب، بحيث تفصل بين الواحدة والأخرى طبقة من **المتفجر الداسر**[1]. وعندما يمر تيار كهربائي في السلك، تندفع الطلقات واحدة تلو الأخرى. وكي تُمنع تلك الطلقات من الانفجار في الوقت نفسه - وهي مشكلة سبق أن صودفت عندما وُضعت طلقات عديدة في ماسورة واحدة - فقد صمم ‹أودوير› الطلقات كي «تعمل معا». فالضغط العالي الناجم عن إطلاق القذيفة الأولى يجعل رأس القذيفة التالية في الصف «ينتفخ» ضاغطا على الجدار ومكونا سُدادة مؤقتة تغلق الطريق أمام باقي الطلقات في الماسورة (باستخدام مصطلحات علم القذائف، يعمل رأس القذيفة التالية فعليا عمل كتلة المِغلاق لمنع حدوث **اشتعال متوالف**[2] يصعب السيطرة عليه). وبعد أن تخرج الطلقة الأولى، ينخفض الضغط وينكمش رأس القذيفة التالية فتصبح قادرة على الانطلاق. وتستمر هذه العملية تباعا من أجل كل طلقة.

وباستثناء الطلقات ذاتها، لا توجد أية قطعة أخرى متحركة. ومن أجل الحصول على مزيد من الطاقة النارية، يمكن تركيب عدة ماسورات جنبا إلى جنب. وعندما تُستهلك إحدى الماسورات، تُطرح جانبا أو تعاد إلى المصنع لحشوها من جديد.

لقد جرت من قبل تجربة أصناف متنوعة من الأسلحة ذات الإطلاق الكهربائي. فمثلا، قامت مختبرات سانديا الوطنية بتطوير مدفع ذي مِلَف (وشيعة) كهرمغنطيسي يسمح بدفع سواتل تزن 100 كغ إلى مداراتها. ولكن عددا من الفوارق يميز بين هذين النهجين، كما يلاحظ ‹V. پوري› [الباحث الرئيسي في المنظمة الأسترالية لعلوم الدفاع وتقاناتها] إذ «يتطلب المدفع ذو المِلف الكهرمغنطيسي قدرا كبيرا من الطاقة، وهو يسمح بالحصول على سرعات عالية، وبدفع أجسام كبيرة إلى مسافات بعيدة. وعلى العكس من ذلك، يحتاج «العاصف المعدني» إلى قدر أقل من الطاقة، ويعمل بمعدلات سرعة أدنى، ويستخدم حشوات متفجرة عادية. فهو يطلق قذائف أصغر حجما لمسافات أقصر ولكن بعدد أكبر في الدقيقة.»

ويشير أودوير إلى ميزة أخرى من ميزات الأسلحة من نمط «العاصف المعدني»: لما كانت الإلكترونيات جزءا متكاملا من صنعة تلك الأسلحة، فإن ذلك يساعد على إدماج آليات أمان وحماية إلكترونية فيها، مثل كتلة مفاتيح وقائية. فإذا حاول مستخدم غير مخوَّل تجاوز أمان السلاح عن طريق تعطيل الآلية الإلكترونية، فإن السلاح ببساطة لن يطلق النار. وللجهاز أيضا استخدامات عديدة غير عسكرية، كما يلحظ ‹دروبوت›، فيمكن لنموذج معدّل منه أقل سرعة أن يحل محل المطارق الآلية للمسامير التي يستخدمها النجارون وعمال البناء، وأن تكون مفيدة في أعمال **البرشمة** riveting، وفي تطبيقات صناعية أخرى.

ويلاحظ ‹كوين› أن تقانة السلاح مازالت تحتاج إلى ضبط دقيق إضافي. فهي مثلا لا تسمح إلا برمي طلقات من عيار صغير نسبيا. ولكن فيزيائيين مثل ‹پوري› يقولون بأن التصميم الأساسي «متين للغاية.» وتقوم المفوضية الأسترالية للتجارة بالترويج للسلاح، الذي جذب إليه الأنظار في أستراليا وبريطانيا.

وفي الولايات المتحدة، قامت شركة جنرال ديناميكس General Dynamics باختبار السلاح، وجرى التعاقد مع الشركة SAIC للمساعدة على تطويره أكثر. وقد حضر ‹F. A. ملتون› [المسؤول الأسبق عن مشتريات السلاح لصالح الجيش الأمريكي والمدير الحالي لمختبر الرؤية الليلية التابع للجيش] اختبار رمي أجري على «العاصف المعدني» في أستراليا عام 1998، وقال بإعجاب: «برأيي، يمثل «العاصف المعدني» منحى تجديديا حقيقيا في مجال الأسلحة الفتاكة. وفي حال تطويره أكثر، فستكون له إمكانات كبيرة في مجال نظم الأسلحة الدفاعية، التي يمكن أن تفيد من معدل رشق النار الفائق الذي يتميز به.»

ويبدو أن أكثر ما يثير دهشة الخبراء في هذه التقانة هو مصدرها. ويعلق ‹دروبوت› على ذلك: «أحيانا، يحتاج الأمر إلى شخص غير اعتيادي للإتيان بأفكار جديدة. وأكثر ما يدهشني هو أن ‹أودوير› أثناء صنعها لم يُفجِّر ماسورة أو يقتل نفسه.» ■



سلاح ناري إلكتروني متعدد الماسورات يعرضه مخترعه ‹M. أودوير›.

(1) propellant
(2) sympathetic ignition

المؤلف
Dan Drollette
كاتب من أستراليا.

بانتظار السيارة الخارقة(*)

قد تكون الأهداف المفرطة في الطموح قد أضرّت بـ«الشراكة من أجل جيل جديد من الآليات» (PNGV)(1).

في احتفال أقيم في الحديقة الوردية بالبيت الأبيض عام 1993، أُعلن بحفاوة بالغة عن ولادة «الشراكة من أجل جيل جديد من الآليات». وقد قُدمت تلك الشراكة كواحدة من المحاور التقانية الاستراتيجية لدى إدارة الرئيس <كلينتون>. ففي تعاون غير مألوف النطاق، جرى الاتفاق على أن تقوم المختبرات الوطنية التابعة للحكومة، وصانعو السيارات «الثلاثة الكبار» في الولايات المتحدة(2)، ومقاولوهم الفرعيون الكثر، بالعمل معا خلال عقد من الزمن من أجل صنع «سيارة خارقة» تتمتع بمعدل لكفاءة الوقود (استهلاكه) مساو لـ80 ميلا في الگالون(3) (أي ما يعادل 3 لترات لكل 100 كم²)؛ وبمعدل منخفض لانبعاث الملوثات؛ وتتصف بوجه خاص، من حيث الأداء والسلامة والراحة والسعر، بالمواصفات نفسها التي تتصف بها سيارة سياحية متوسطة الحجم تتسع لخمسة ركاب.

وقد كان المنطق الذي استندت إليه فكرة الشراكة سديدا، وهو إعطاء دفعة تنشّط الابتكار في المختبرات(4) الوطنية (التي كانت وقتها تبحث عن مهمة جديدة لها بعد انتهاء الحرب الباردة) عن طريق تمويل البحث والتطوير في مجال التقانات ذات المجازفة العالية أو التي يُتوقع أن تكون عوائدها الاقتصادية بعيدة الأمد، إلى درجة لا تشجع صانعي السيارات على المضي فيها على حسابهم الخاص.

ولكن الواقع لم يَرْقَ إلى مستوى ذلك المنطق. فبعد المضي في منتصف طريق مشروع السنوات العشر المنشودة، وجد بعض خبراء التقانات المتقدمة في السيارات أن الشراكة لم تعط إلا ريعا ضئيلا جدا في مقابل بليوني الدولار التي أُنفقت تقريبا على البرنامج، والتي دفعت الحكومة حوالي نصفها. هذا في الوقت الذي أقرّ الموظفون الرسميون في الشراكة أنفسهم بأن بناء نموذج أولي جاهز لإنتاج سيارة تبلغ كفاءة الوقود فيها 80 ميلا/گالون وتفي بجميع المعايير الأخرى، هو أمر بعيد الاحتمال. وتبدو مواطن الضعف أكثر وضوحا على ضوء نجاح شركة تويوتا في إنزال عربة هجينة(5) متطورة إلى السوق.

وفي الوقت ذاته، واجهت الشراكة عددًا من المشكلات، منها بالبنية الإدارية الصعبة المراس، وعدم وضوح مستقبل شركة ديملر كرايسلر - ومقرها ألمانيا - ضمن البرنامج المدعوم فدراليا. ولعل أبرز تلك المشكلات هو الهدف الطموح الذي وضعته الشراكة لنفسها للوصول إلى كفاءة وقود مساوية لـ80 ميلا/گالون، والذي يعتقد بعض النقاد أنه لم يكن واقعيا على الإطلاق.

وبحسب ما يراه النقاد، فإن هدف كفاءة الوقود هذا - قل عنه ما شئت سوى أنه ممكن التحقيق! - يجبر الباحثين، مدة أطول مما ينبغي، على الجد في طلب تقانات بعيدة المنال، مثل **الحدافات**(6) plywheels والمكثفات الفائقة السعة. وبحسب ما يرى <A. كوگوني> [مصمم الآليات الكهربائية والهجينة الشهير] «كان هناك انحياز غير مبرر نحو التقانات الطليعية غير الناضجة، والتي لم يكن لديها كبير حظ في النجاح.» وأضاف: «لقد التزموا ببعض المتطلبات بشكل جازم إلى درجة أنهم لم يصلوا إلى نتيجة على الإطلاق.»

أما <T. گليج> [أحد المسؤولين التنفيذيين السابقين في كرايسلر] فقد ذكر أن الشراكة باشرت أعمالها في أوائل التسعينات واضعة هدفا مفرطا في الطموح، وكانت بعض غاياتها استرضاء مسؤولي حماية البيئة. وقال <گليج>: «لقد نجت الصناعة من محاولة قوية استهدفت رفع قانون [وسطي كفاءة الوقود] إلى معدل 40 ميلا/گالون.» وأضاف: «إن الشراكة قد نجحت في تهدئة خواطر مسؤولي حماية البيئة بأن وضعت نصب أعينها هدفا ليس هو نفسه متأكدا «حتى من كون هذا الهدف ممكنا من الناحية الترمودينامية. وطبعا، يعتمد ذلك على الفرضيات التي يضعها المرء. والفرضيات التي وضعتها أنا شخصيا تدل على أن الأمر غير ممكن من أجل سيارة بالحجم الكامل وتتسع لخمسة ركاب. وقد كانت الشراكة بديلا عن اعتماد سياسة واقعية وفعالة في مجال الاقتصاد في الوقود. وفي حين كانت تلك الشراكة تمضي قدما، تمكّنت الشاحنات الخفيفة من اقتناص 50% من مبيعات السوق، وبمعدل كفاءة وقود يقع في المجال 13-17 ميلا/گالون. لقد عدنا ثانية إلى السبعينات.»

كما انتقد <V. ووك> [وهو مستشار محنّك في مجال العربات الهجينة] أهداف الشراكة الطموحة، ولكن لسبب مختلف، عندما صرح قائلا: «إن شركات فورد وجنرال موتورز وكرايسلر تريد الفوز بالسعفة الذهبية منذ الضربة الأولى.» وأضاف: «فيما كنا نتكلم عن السيارات الهجينة، كان اليابانيون يصنعون واحدة منها!» مشيرا إلى سيارة پريوس Prius من صنع شركة تويوتا. وهي ليست تماما السيارة الخارقة التي تتصورها الشراكة؛ لكنها سيارة سياحية صغيرة يقع معدل كفاءة الوقود فيها بين 50 و 66 ميلا/گالون. وقال <ووك>: «إنها مع ذلك تكوّن قاعدة صلبة يمكن البناء عليها.» وفي الوقت نفسه، ألح أحد المسؤولين التنفيذيين لدى الثلاثة الكبار على أن «تركيز الاهتمام على هدف الـ80 ميلا/گالون، إن كان له دور، فهو التخفيف من الضغط على التقانات التي نريد إنزالها إلى السوق على المدى الأقرب.»

ولكن أنصار الشراكة وجدوا أن الأهداف

(*) WAITING FOR THE SUPERCAR

(1) the Partnership for a New Generation of Vehicles

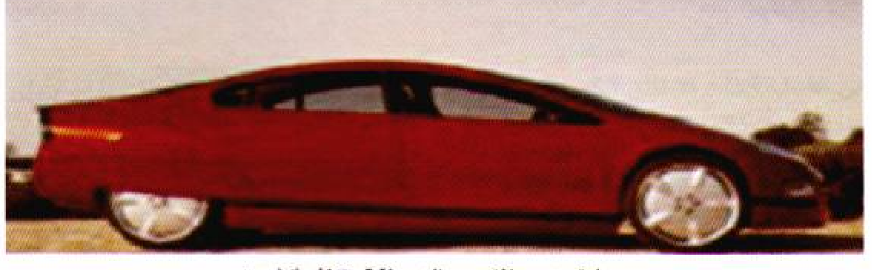
(2) وهي شركات فورد وجنرال موتورز وكرايسلر. ومؤخرا اتحدت الشركة الأخيرة مع شركة ديملر-بنز الألمانية، فظهرت إلى الوجود شركة ديملر كرايسلر.

(3) أو نحو 700 كم في الصفيحة سعة الـ20 ليترا بحسب المقاييس المتبعة في بلادنا (والگالون في الولايات المتحدة يعادل 3.785 لتر).

(4) ويقال أيضا المخابر، جمع مِخْبَر.

(5) تستمد السيارة الهجينة طاقتها من مصدرين مختلفين، مثلا الوقود والكهرباء، كما هو مقصود في هذه المقالة.

(6) أو عجلات تنظيم السرعة. (التحرير)



سيارة «دودج إنتربيد» الهجينة قد تكلف أكثر من سيارة معهودة، وذلك وفق توقعات ديملر كرايسلر.

الطموحة كانت مُحفزة. وقد قال <A. موراي> [المسؤول التنفيذي عن متابعة عمليات الشراكة لدى فورد] عن هدف الـ80 ميلا/گالون: «لقد مرت بنا جميعا أوقات عصيبة ونحن نحاول «ابتلاع» هذا الهدف والبدء بالعمل لتحقيقه. ولكن ذلك دفعنا لإعادة النظر في كل جانب من جوانب الآلية. لذا ينبغي لنا الاعتراف له بشيء من الفضل.» أما <G. جوي> [رئيس مجموعة العمل الفنية الخاصة بالشراكة لدى وزارة التجارة، وهي الهيئة الحكومية صاحبة الصدارة في البرنامج] فحاول البرهان على أن الشراكة ستحقق نجاحا باهرا «إذا تدبرنا الأمر بحيث نخرج بآلية معتدلة السعر ورفيقة للبيئة.» ويقع معدل كفاءة الوقود فيها بين 55 و60 بدلا من 80 ميلا/گالون، لكنها في المقابل تحقق التطلعات المتوخاة من السيارة الخارقة. إضافة إلى ذلك، فإن المسؤولين التنفيذيين في الشراكة ركزوا اهتمامهم على هدفين آخرين أقل شيوعا: تحسين التنافسية التصنيعية بوجه عام، والإتيان بتقانات جديدة إلى مجال إنتاج الآليات من أجل تحسين كفاءة الوقود ومستوى انبعاث الملوثات.

ولسوء حظ هؤلاء المسؤولين، فإنهم لم يكونوا يعرفون المواصفات القياسية لانبعاث الملوثات التي يجب أن يعملوا على تحقيقها. فالمعايير المعروفة باسم Tier 2، والتي تُعنَى أساسا بالجسيمات الدقيقة والأكاسيد النتروجينية (NO_x) كانت قيد الصياغة في وكالة حماية البيئة EPA.

وتقع توصية الوكالة EPA الخاصة بانبعاث الأكاسيد NO_x تحت حد الـ0.2 غرام في الميل الواحد، ولا تزيد بالنسبة إلى الجسيمات الدقيقة(1) على 0.04 غرام في الميل (في الولايات المتحدة عادة محيّرة: هي خلط وحدات النظام المتري مع الوحدات الإمبراطورية البريطانية في معدلات انبعاث الملوثات!) وهناك ضغط متعاظم يدفع نحو تطابق حدود الانبعاث في مواصفات Tier 2 مع أحدث المواصفات الخاصة بـ«الآليات ذات معدلات الانبعاث المتدنية للغاية» (ULEV) التي أصدرها «مجلس الموارد الجوية في كاليفورنيا»، وهي 0.05 غرام/ميل بالنسبة إلى الأكاسيد NO_x و 0.01 غرام/ميل فيما يتعلق بالجسيمات الدقيقة.

ومنذ عام 2001 تخضع نسبة متزايدة الارتفاع من الآليات المباعة في كاليفورنيا لحدود ULEV. وبحلول عام 2010، يُفترض في معظم السيارات المباعة في الولاية ألا تكون أكثر تلويثا للبيئة من حدود ULEV. وقد تؤدي هذه الحقيقة بالشراكة إلى مشكلة، لأن معدلات الانبعاث الخاصة بذاك النوع من الآليات قد تكون مستحيلة التحقيق في السيارة الخارقة، إن كانت لها الخصائص الأخرى المبتغاة.

أما في السيارات الهجينة الكهربائية، فإن مجرد الاقتراب من معدل كفاءة وقود مساو لـ80 ميلا/گالون، سيتطلب على الأغلب استخدام محركات الديزل، المشهورة في ارتفاع معدل انطلاق الجسيمات الدقيقة منها. وفي المقابل، فإن استخدام المحرك المعهود ذي الاحتراق بالشرر يمكن أن يحقق مطلب إطلاق الجسيمات الدقيقة، ولكن سيكون من غير المحتمل عندها تحقيق مطلبيْ كفاءة الوقود وانبعاث الأكاسيد NO_x المنخفض. ويقرّ <جوي> قائلا: «إن الجمع بين معدلي هذين الانبعاثين المنخفضين سيضعنا أمام عقبة تقنية فريدة من نوعها.»

وخلال ذلك، قام كل واحد من صانعي السيارات الثلاثة الكبار، تدليلا على مدى تقدمه، بالعمل على إنتاج عربة هجينة. وعندما سُئل مديرو الشراكة كيف، بالضبط، أفادت الأفكار المستخدمة في تلك السيارات من البرنامج، لم يكن باستطاعة أي منهم أن يحدد مباشرة تقانة بعينها انبثقت عن عملهم التعاوني مع الحكومة. ولكنهم جميعا أعلنوا دعمهم المفعم بالثقة للشراكة.

وربما كان الأمر الأكثر مغزى هو أن هؤلاء المديرين أكدوا أن التحالف له فوائد بارزة خارج المضمار التقني. فقد ذكر <V. فازيو> [مدير برنامج الشراكة لدى فورد] بأن البرنامج له أثر مساعد في «تعزيز مقدار الثقة بين واضعي الأنظمة في واشنطن والصناعة.» ويوافق <S. تسيمر> [من ديملر كرايسلر] على ذلك مضيفا أنه بفضل تمثيل الهيئات الواضعة للأنظمة (مثل وكالة حماية البيئة) في الشراكة، أصبح «بإمكاننا على الأقل إجراء حوار حول جداول الأعمال الخاصة بكل واحدة من هذه الهيئات.» وفي جنرال موتورز، قال مدير برنامج الشراكة <R. يورك> إنه بفضل البرنامج «تعلَّمنا أن نجمع الفائدة من العمل التعاوني والعمل التنافسي لإنجاز المطلوب.» وقد كان الثلاثة الكبار محرومين من التعاون حتى منتصف الثمانينات. أما منتقدو الشراكة، فقد ألحوا من جهتهم على أنه كان بالإمكان تحقيق تلك الإنجازات بقدر أقل من التكاليف.

إضافة إلى جميع العقبات التقنية، فإن أحد التحديات الأكثر صعوبة التي ستواجه صانعي السيارات في السنوات القادمة هو التسويق؛ إذ يبدو أن مقتني السيارات غير راغبين، أكثر من أي وقت مضى، في دفع أي مبلغ إضافي مقابل الحصول على كفاءة وقود أفضل. وكما لاحظ <فازيو> «فالنقطة الجوهرية هنا هي محاولة تطوير تقانة لا تضطر المستهلك إلى دفع تكلفة زائدة مقابل الحصول عليها.» تلك هي «القضية الاستراتيجية الأخطر التي سنواجهها.»

قبل أعوام، عندما ساعد دعم <آل گور> على جعل «الشراكة من أجل جيل جديد من العربات (PNGV)» حقيقة واقعة، كان نائب الرئيس الأمريكي كثيرا ما يقارن ذلك البرنامج بمشروع أپولّو. ولم تخف تلك المقارنة على <فازيو>، الذي يملك رؤيته الخاصة لها: «هذا المشروع أصعب من الذهاب إلى القمر. لأننا نحاول أخذ 200 مليون أمريكي معنا.» ■

<G. زوريت>

(1) particulate emissions